

## INFORME FINAL

# COMPLEJO HIDROELÉCTRICO LOS BLANCOS

## CRECIDAS DE DISEÑO DE LOS ALIVIADEROS DE LAS PRESAS “LOS BLANCOS” Y “LOS TORDILLOS”

**Autores:**

*Ing. Jorge A. Maza (GPP)*  
*Inga. Patricia M. López (CRA)*  
*Ing. Rafael S. Seoane (DSH)*  
*Cdor. Luis A. Fornero (CRA)*  
*Técn. Víctor H. Burgos (CRA)*  
*Técn. Marta S. Nuñez (CRA)*

**Publicación Interna**

*Mendoza, noviembre de 2008*

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE 1974 y 1986 REALIZADOS POR AGUA y ENERGIA ELECTRICA	2
1.1.1. Introducción	2
1.1.2. Estudio de Agua y Energía Eléctrica del año 1974	2
1.1.2.1. Crecida por fusión nival	2
1.1.2.2. Crecida por escurrimiento pluvial	3
1.1.2.3. Crecida compuesta fusión nival-pluvial	3
1.1.3. Estudio de Agua y Energía Eléctrica del año 1986	3
1.1.3.1. Crecida por fusión nival	4
1.1.3.2. Crecida por escurrimiento pluvial	5
1.1.3.3. Crecida compuesta fusión nival-pluvial	5
1.1.4. Conclusiones de la necesidad del estudio	6
2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TUNUYÁN	7
2.1. CLIMATOLOGÍA	10
2.2. HIDROLOGÍA	21
2.2.1. Curva de duración de caudales	26
3. CRECIDA DE DISEÑO	28
3.1. COMPONENTE DE FUSIÓN NIVAL	29
3.1.1. Modelo SRM	29
3.1.2. Calibración del modelo SRM	31
3.1.2.1. Morfometría de la cuenca	31
3.1.2.2. Área cubierta de nieve	39
3.1.2.3. Información meteorológica	44
3.1.2.4. Procedimiento de calibración	48
3.1.2.5. Aplicación del SRM y conclusiones	50
3.1.3. Desarrollo de la crecida de diseño por fusión nival	51
3.1.3.1. Área cubierta de nieve	52
3.1.3.2. Información termométrica	55
3.1.3.3. Coeficiente grado-día	57
3.1.3.4. Aplicación del SRM	59
3.2. COMPONENTE PLUVIAL	61
3.2.1. Modelo ARHYMO	61
3.2.2. Cuencas de aporte pluvial	61
3.2.2.1. Determinación de valores de CN	63

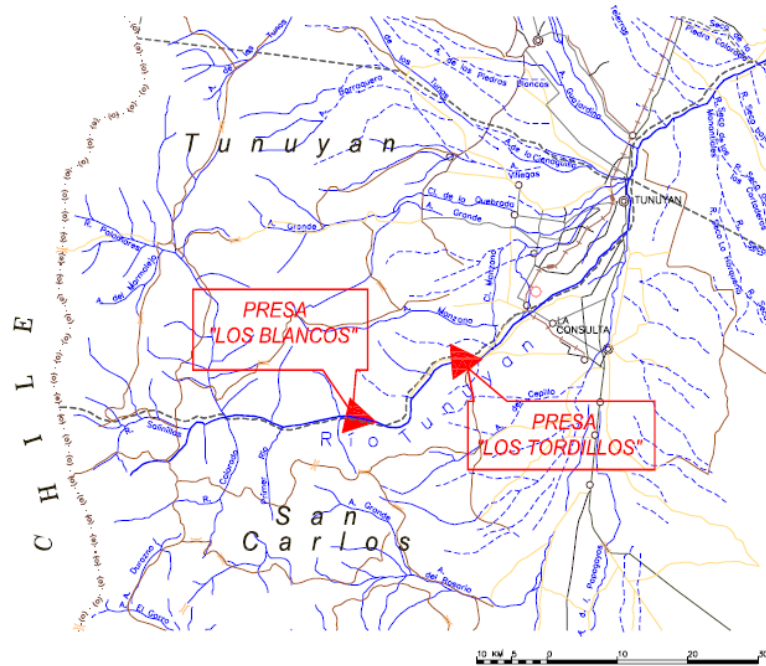
3.2.3. Tormentas de proyecto	72
3.2.4. Aplicación de ARHYMO	79
3.3. CONFORMACIÓN DE LAS CRECIDAS DE DISEÑO	81
3.3.1. Aliviadero de Los Blancos	82
3.3.2. Aliviadero de Los Tordillos	82
4. COMPROBACIONES Y COMPARACIONES	84
4.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIA	84
4.1.1. Crecidas históricas	85
4.1.2. Análisis de frecuencias de valores extremos	87
4.1.2.1. Modelo población mezcla estación Valle de Uco	88
4.1.2.2. Análisis regional de frecuencias	93
4.1.2.2.1. Selección de estaciones que conforman la región homogénea	94
4.1.2.2.2. Selección de la distribución para la región homogénea	96
4.1.2.2.3. Estimación de caudales para la estación Valle de Uco	98
4.1.3. Conclusiones del análisis de frecuencias	100
4.2. COMPROBACIÓN CON CAUDAL MÁXIMO Vs. ÁREA	101
5. CONCLUSIONES	103
6. BIBLIOGRAFÍA	104
7. REFERENCIAS EN INTERNET	106

**APÉNDICE (CD):** Salida de calibración del Modelo SRM  
Salida de crecida nival del Modelo SRM  
Hidrogramas de las crecidas de diseño

# 1. INTRODUCCIÓN

El Aprovechamiento Hidroeléctrico Los Blancos se encuentra ubicado sobre el río Tunuyán, provincia de Mendoza, geográficamente la zona se encuentra a 155 km al Suroeste de la ciudad de Mendoza, a unos 44 km al Oeste de la localidad de La Consulta y a unos 33 km del dique derivador Valle de Uco, entre los departamentos de San Carlos y Tunuyán.

El complejo hidroeléctrico Los Blancos está integrado por los aprovechamientos Los Blancos I y Los Blancos II, y contempla la optimización con fines Hidroeléctricos de un salto natural de 560 m, en un tramo de 33 km del río, en el que recibe los siguientes afluentes: arroyo Los Blancos, en cuya confluencia nace el Aprovechamiento Los Blancos I y arroyo Los Tordillos, este último a 15 km aguas abajo del primero, donde se emplazaría el contra embalse del mismo nombre como obra de cabecera para el futuro aprovechamiento Los Blancos II, finalizando el sistema en el dique derivador con fines de riego Valle de Uco, 18 km aguas abajo (Figura 1.1)



**Figura 1.1. Ubicación del Complejo Hidroeléctrico Los Blancos**  
(Fuente: Pliego de Llamado de Manifestación de Interés)

Es objeto del presente estudio la determinación de la crecida de diseño para los aliviaderos de las presas Los Blancos y Los Tordillos.

Según se expresa en (ICOLD, 1992) la crecida de diseño de una gran presa es la crecida donde la probabilidad y la importancia son seleccionadas de manera tal de procurar seguridad a la presa en vista de un colapso por sobrepaso y de sus consecuencias aguas abajo.

La elección de esta crecida constituye una de las decisiones más importantes que deben hacerse en el desarrollo del proyecto de la presa. Esta elección resulta, no solamente de la influencia de factores hidrológicos sobre la presa sino también de los riesgos potenciales que la rotura de la presa provocaría sobre la vida de personas y pérdidas económicas asociadas.



Dado que los principales antecedentes de estudios del aprovechamiento consisten en los realizados por la Empresa Agua y Energía Eléctrica (AyEE) en 1974 y 1986, y que el conocimiento de las metodologías utilizadas en esas oportunidades es de relevante importancia para el desarrollo del proyecto actual, es que se realiza un análisis de los estudios hidrológicos destinados a la determinación de la crecida de diseño en esas oportunidades.

## **1.1. ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS HIDROLÓGICOS DE 1974 Y 1986 REALIZADOS POR AGUA Y ENERGIA ELECTRICA**

### **1.1.1. Introducción**

La empresa Agua y Energía Eléctrica ha realizado varios estudios referidos al Aprovechamiento Hidroeléctrico Los Blancos, siendo los más relevantes los desarrollados en 1974 y 1986. El análisis de estos estudios se realiza debido a las importantes diferencias en las estimaciones del caudal de diseño del aliviadero y en sus períodos de retorno. Estos valores son:

- Estudio de 1974: Q diseño = 1644 m<sup>3</sup>/s con período de retorno 5000 años
- Estudio de 1986: Q diseño = 755 m<sup>3</sup>/s con período de retorno 500 años.

En este análisis se han considerado únicamente los aspectos, hidrológicos y estadísticos aplicados a la determinación de la crecida de diseño, presentados en ambos estudios y se ha analizado desde el estado del arte hasta la información hidrometeorológica disponible tanto en el año 1974 como en el año 1986.

### **1.1.2. Estudio de Agua y Energía Eléctrica del año 1974**

En este estudio el caudal de diseño del aliviadero determinado fue de 1644 m<sup>3</sup>/s y su período de retorno es de 5000 años. Esta estimación fue llevada a cabo considerando crecidas originadas por fusión nival y escurrimiento pluvial. A continuación se resumen los procedimientos utilizados.

#### ***1.1.2.1. Crecida por fusión nival***

Las series de caudales medios mensuales y medios diarios máximos anuales de la estación Valle de Uco del río Tunuyán se extendieron hasta el año 1909 utilizando modelos de regresión lineal.

El modelo que relaciona los valores medios mensuales máximos anuales en las estaciones Valle de Uco y Cacheuta, del río Mendoza, permite la extensión de la serie caudales medios diarios máximos anuales en Valle de Uco.

Se estimaron los valores extremos mediante los métodos de Fuller y Chow y la distribución estadística de Frechét a efectos de determinar el caudal medio diario máximo para una recurrencia de 100 años. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 1.1.2.1.1

**Tabla 1.1.2.1.1. Estimaciones período de retorno 100 años**

Método	Caudales medios diarios máximos anuales ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Fuller	558.28
Chow	426.40
Distribución Fréchet	580.00

En el estudio se adopta la estimación obtenida con la distribución Fréchet, porque proporciona el valor mayor del caudal de diseño.

#### ***1.1.2.2. Crecida por escurrimiento pluvial***

El caudal producido por escurrimiento pluvial se determinó simulando el proceso de transformación *precipitación-caudal* utilizando el Hidrograma Unitario de Clark en cada una de las cuencas de aporte, estimados mediante el método de isocronas.

Se transpuso al área en estudio la tormenta registrada el 04/01/70 en el pedemonte del Gran Mendoza, que ocasionó el colapso de la presa de control aluvional Frías.

Para ello se asumió que la distribución espacial y temporal era igual a la del el evento observado y no se consideraron pérdidas por infiltración, por lo que el hietograma de precipitación se asumió como efectivo al realizar la convolución del hidrograma unitario. La plantilla de isohietas se centró sobre un área de  $2160 \text{ km}^2$ , que afecta directamente el emplazamiento de la presa.

El caudal máximo obtenido para esta crecida fue de  $1064 \text{ m}^3/\text{s}$  y se asume su recurrencia es de 50 años.

#### ***1.1.2.3. Crecida compuesta fusión nival-pluvial***

El caudal de diseño del aliviadero se establece como la suma del caudal estimado por la distribución Fréchet ( $580 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y el máximo simulado por la tormenta del 04/01/70 ( $1064 \text{ m}^3/\text{s}$ ) obteniéndose el valor de  $1644 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En el estudio se concluye que el tiempo de retorno de la ocurrencia simultánea de los procesos considerados es de 5000 años, calculado como producto de los períodos de retorno 50 años del caudal simulado y 100 años de la crecida nival estimada.

### **1.1.3. Estudio de Agua y Energía Eléctrica del año 1986**

En este estudio el caudal de diseño del aliviadero determinado fue de  $755 \text{ m}^3/\text{s}$  y su período de retorno es de 500 años. También, esta determinación fue llevada a cabo considerando crecidas originadas por fusión nival y escurrimiento pluvial. A continuación se resumen los procedimientos utilizados.

### 1.1.3.1. Crecida por fusión nival

En este estudio también se extienden las series de caudales medios mensuales y medios diarios máximos anuales de la estación Valle de Uco hasta el año 1909, mediante la misma metodología utilizada en el estudio de 1974 (modelos de regresión lineal).

También se ajustan distribuciones estadísticas de valores extremos, en este caso se utilizan las distribuciones Gumbel, Pearson III y Log-Pearson III y se determinan, para cada una de ellas, las relaciones *caudal-período de retorno* para los valores medios diarios máximos anuales. Las relaciones obtenidas se presentan en la Tabla 1.1.3.1.1

**Tabla 1.1.3.1.1 Caudales medios diarios máximos anuales (m<sup>3</sup>/s)**

Función de Distribución ajustada	T <sub>R</sub> (años)					
	5	10	25	50	100	500
Log-Pearson III	147	186	246	295	358	523
Pearson III	151	193	250	291	338	441
Gumbel	163	202	251	287	324	406

Los caudales instantáneos máximos anuales, presentados en la Tabla 1.1.3.1.2, son obtenidos mediante un modelo de regresión lineal que considera como variable independiente las estimaciones de caudales medios diarios máximos anuales de la distribución Log-Pearson III.

**Tabla 1.1.3.1.2 Caudales instantáneos máximos anuales (m<sup>3</sup>/s)**

Función de Distribución	T <sub>R</sub> (años)					
	5	10	25	50	100	500
Log-Pearson III	183	233	309	371	451	660

Es probable que se seleccionara la función de densidad de probabilidades Log-Pearson III por las siguientes razones:

- la recomendación del gobierno de los Estados Unidos (Guidelines for determining Flood Flow Frequency. USGS. Bulletin 17B of the Hydrology Subcommittee, 1981) ,
- define la estimación más conservadora.

Sin embargo, debería haberse incluido en el informe el criterio de selección entre funciones de densidad de probabilidades y el método de estimación de los parámetros utilizado.

### 1.1.3.2. Crecida por escurrimiento pluvial

En este estudio se obtiene una serie de caudales máximos anuales de origen pluvial a partir del análisis de la información limnigráfica y pluviométrica de la estación Valle de Uco y se extiende utilizando un modelo de regresión que utiliza como variable independiente los caudales medios anuales de la misma estación.

Se ajustan las mismas distribuciones estadísticas de la sección 3.1., con el propósito de asociar tiempos de retorno a los caudales máximos anuales de origen pluvial. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 1.1.3.2.1

**Tabla 1.1.3.2.1 Caudales máximos anuales de origen pluvial (m<sup>3</sup>/s)**

Función de Distribución ajustada	T <sub>R</sub> (años)					
	5	10	25	50	100	500
Log-Pearson III	25	35	49	59	70	95
Pearson III	26	33	40	43	46	49
Gumbel	28	37	49	58	67	88

### 1.1.3.3. Crecida compuesta fusión nival-pluvial

El estudio considera que “...los picos pertenecientes a estas poblaciones distintas (fusión nival y pluvial) pueden adicionarse en la zona de la estación Valle de Uco en las condiciones más desfavorables.

*Es indudable que la época en que se producen ambos picos es la misma, entre las diversas pruebas de ello, no solo está la ya citada crecida de 1972-73, sino también la de 1982-83...”*  
*“Ambas crecidas, para una misma recurrencia, fueron sumadas en las condiciones más desfavorables, llegándose por adición a la siguiente tabla...”*

En consecuencia, la relación *caudal-período de retorno* para las dos poblaciones consideradas, se obtiene sumando los caudales estimados por la distribución Log-Pearson III para iguales recurrencias. Esta distribución es la que presenta los mayores valores y la relación obtenida se presenta en la Tabla 1.1.3.3.1

**Tabla 1.1.3.3.1 Caudales máximos compuestos (m<sup>3</sup>/s)**

Función de Distribución	T <sub>R</sub> (años)					
	5	10	25	50	100	500
Log-Pearson III	208	268	358	430	521	755

#### 1.1.4. Conclusiones de la necesidad del estudio

En los estudios analizados el caudal de la crecida de diseño del aliviadero se determina como suma de caudales provenientes de dos procesos generadores de crecientes que se producen en la misma época del año, fusión nival y precipitaciones convectivas, y la extrapolación de los caudales extremos provenientes de la fusión nival, para un período de retorno seleccionado, se obtiene con un análisis estadístico de las series disponibles.

En ambos estudios se ajustan tres métodos a las series de caudales medios diarios máximos anuales disponibles y se opta por el que define el mayor valor de caudal para el período de retorno seleccionado, sin explicitar el método de estimación de parámetros utilizado.

Los nuevos enfoques aplicados en Hidrología indican que la estimación de la relación *caudal-periodo de retorno* hace necesario definir un criterio de selección de funciones de densidad de probabilidades y explicitar el método de estimación de sus parámetros. Este es un tema relevante en el análisis de frecuencias ya que distintas combinaciones *Distribución-Método de estimación de los parámetros* no solamente producen estimaciones diferentes, sino que algunas son más eficientes y robustas que otras.

Si bien los períodos de retorno seleccionados son muy diferentes, es importante señalar que la estimación del estudio de 1974 para 100 años es un 11% mayor que la obtenida para 500 años en el estudio de 1986.

Los caudales producidos por crecidas originadas por precipitación pluvial tuvieron un tratamiento diferente. En el estudio de 1974 se aplica un enfoque determinístico, obteniéndose un único caudal simulado con una precipitación importante ocurrida en el pedemonte del Gran Mendoza. La recurrencia de esta tormenta se establece en 50 años y se considera que el caudal simulado tiene igual período de retorno.

Si bien la precipitación utilizada puede haber tenido la recurrencia indicada, es discutible que se le asigne al escurrimiento generado igual probabilidad de ocurrencia, ya que, por ejemplo, en el estudio no se han considerado pérdidas por infiltración en la cuenca, situación que hace a la escorrentía más excepcional aún. Por otra parte la transformación *precipitación-caudal* no es lineal; la relación que podría ser considerada como lineal es la definida por la precipitación efectiva y el caudal directo.

En el estudio de 1986 se aplica un enfoque probabilístico que permite definir una relación entre los caudales producidos por precipitaciones máximas observadas en la estación Valle de Uco y sus períodos de retorno.

Los caudales de diseño obtenidos en ambos estudios presentan, no solo diferencias en magnitud, sino también en los valores de recurrencia.

El período de retorno del caudal de diseño del estudio de 1974 se calcula como producto de las recurrencias de los caudales suma, es decir 100 años x 50 años. Este resultado resulta discutible ya que el valor 5000 puede obtenerse como producto de diferentes factores, por ejemplo 1000 y 5, 10 y 500, entre otros, y en el análisis univariado la relación *caudal-periodo de retorno* es biunívoca.

En el estudio de 1986, se selecciona el período de retorno 500 años y se suman las estimaciones de los caudales producidos por fusión, previa transformación de los caudales medios diarios máximos anuales a instantáneos máximos anuales, y por precipitación. En el estudio se asume que la recurrencia de la suma es de 500 años. Este resultado preserva la dependencia biunívoca de la relación *caudal-período de retorno*, pero asocia eventos de alta recurrencia en los dos procesos considerados, es decir hay pérdida de aleatoriedad en el proceso compuesto, condicionándose el resultado final.

Para evitar el inconveniente mencionado en el párrafo anterior y dado que el estudio dice que los caudales analizados en la estación Valle de Uco pertenecen a dos poblaciones distintas, se considera que el procedimiento más adecuado para lograr la relación *caudal-período de retorno* hubiese sido el tratamiento como población mezcla.

Del análisis realizado surge que, lo más cuestionable de los estudios es el período de retorno asignado a los caudales de diseño, ya que probablemente la recurrencia del caudal producido por el proceso compuesto de fusión y precipitación, no sea ninguno de los determinados.

Además, el valor del período de retorno adoptado para el diseño del vertedero no es el apropiado, en ninguno de los dos estudios, para proteger una obra de la magnitud de la presa Los Blancos, ya que su sobrepaso y consecuente colapso puede afectar vidas humanas e importantes infraestructuras aguas abajo, además de la presa misma.

En el marco de los conceptos anteriores, y dado que existen nuevos enfoques metodológicos aplicables al diseño y verificación de presas y veinte años más de observaciones hidrometeorológicas, se realiza la determinación de las crecidas de diseño de las presas Los Blancos y Los Tordillos.

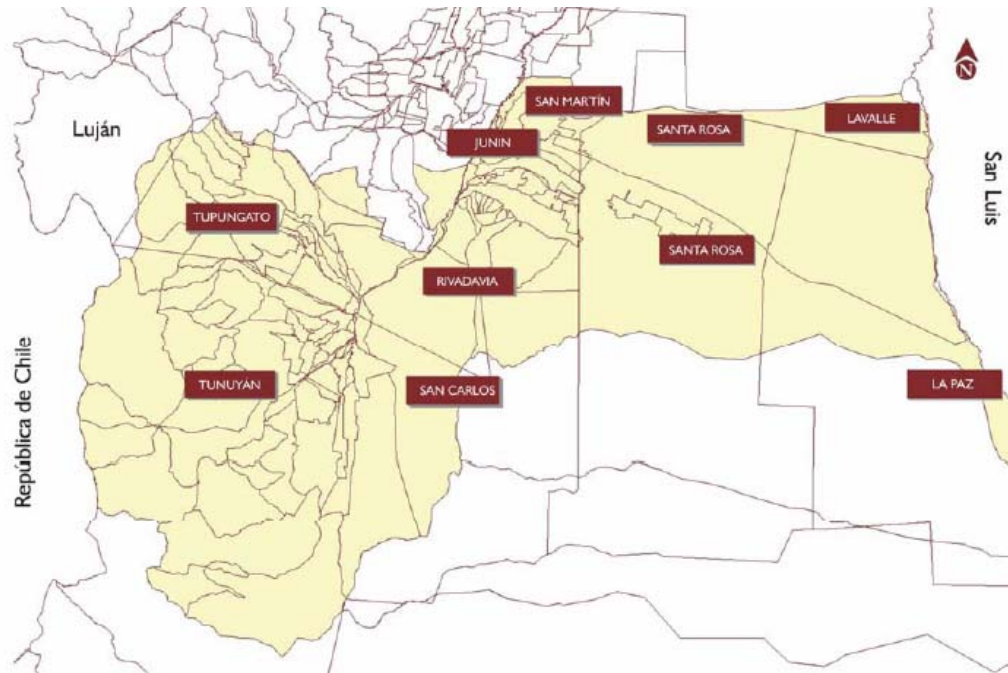
## **2. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO TUNUYÁN**

El río Tunuyán nace en los faldeos orientales de la Cordillera de Los Andes, en un frente de 100 km de largo (entre 33° 20' y 34° 00' de latitud Sur), asentados en las crestas y estribaciones de los cerros Tupungato y Tupungatito, en el norte, hasta el Volcán Maipo, en el sur. Los afluentes más importantes son los Ríos Palomares, Salinillas y Colorado. Luego recibe también el aporte de varios arroyos, como el San Carlos, Salas Caroca, Claro, Pircas, Grande, Olmos y Villegas entre otros.

Los límites norte y sur son las divisorias de aguas con las cuencas de los ríos Mendoza y Diamante, respectivamente y al Este limita con el río Desaguadero.

La cuenca del río Tunuyán, abarca una superficie de 18.954 km<sup>2</sup>, en el centro norte y centro de la provincia de Mendoza. El cauce de este río presenta un recorrido que nace en los glaciares de la cordillera principal, en la vertiente Suroeste del Volcán Tupungato, atraviesa el Valle de Uco, transpone la Sierra de las Huayquerías y se extingue en la travesía del Este mendocino, llegando ocasionalmente al río Desaguadero.

Desde el punto de vista político, la cuenca del río Tunuyán comprenden los departamentos de Tunuyán, San Carlos, Tupungato, Rivadavia, Junín, San Martín, Santa Rosa y La Paz, como puede apreciarse en la Figura 2.1



**Figura 2.1. División Política en la cuenca del Río Tunuyán**

El paisaje está claramente diferenciado por una serie de relieves que incluyen desde las formaciones montañosas a las planicies, llanuras y depresiones. Es justamente la conjunción del relieve con el clima lo que permite una rica oferta de pisos altitudinales con diversas condiciones agroecológicas.

En la cuenca del río Tunuyán, la altitud varía desde los 600 m snm en el Este hasta alturas superiores a los 6.000 metros en la cordillera principal.

Aguas arriba del Valle de Uco se lo denomina Valle Superior del Río Tunuyán con una cuenca imbrífera que llega a los 2534 Km<sup>2</sup>, y altitudes que van desde los 1117 m (Valle de Uco) hasta los 6538 m snm. (Figura 2.2)

La cuenca de estudio está comprendida entre las latitudes 33°22'30"S y 34°7'30"S y las longitudes 69°56'15" W y 69°11'15"W (Figura 2.3).



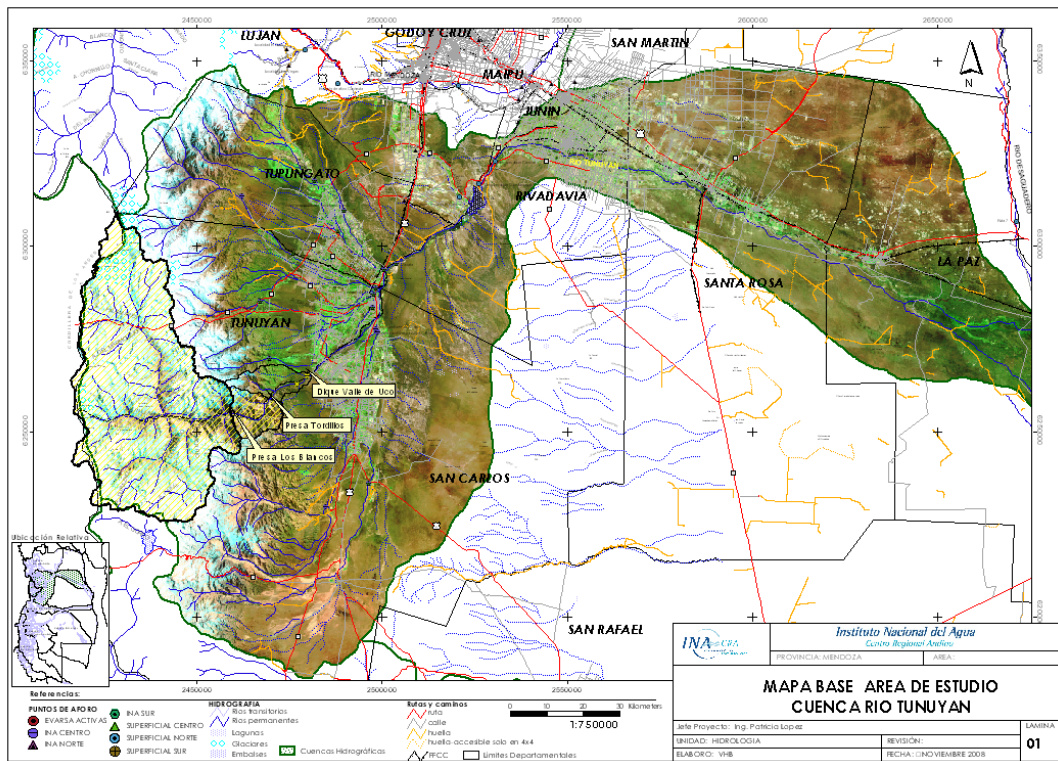


Figura 2.2. Cuenca del río Tunuyán

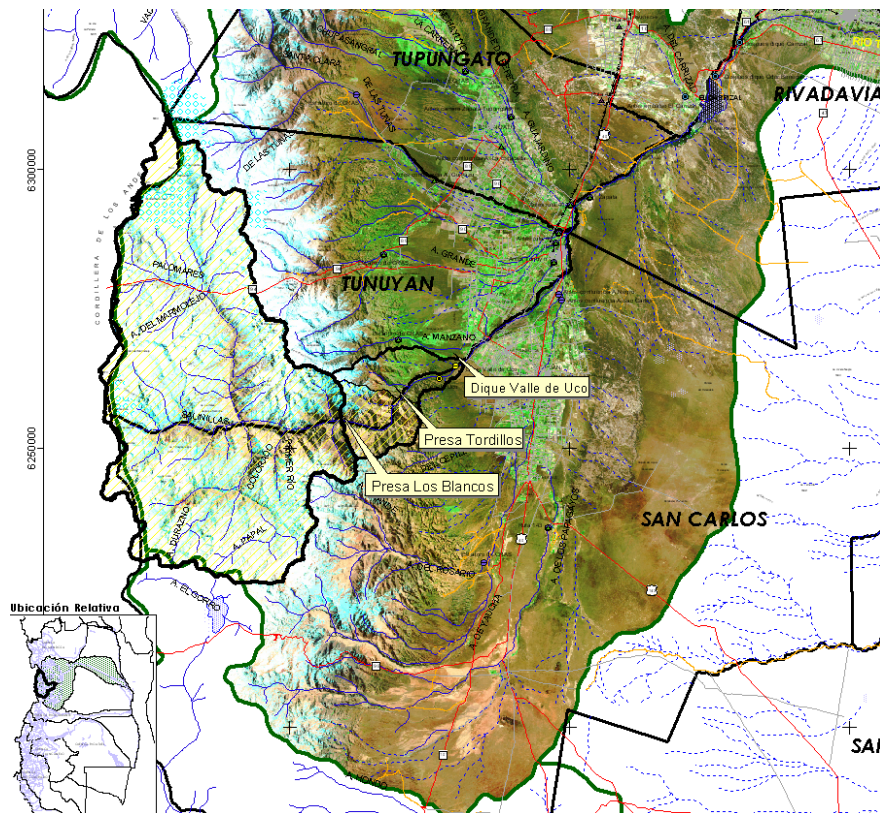


Figura 2.3. Detalle del área de estudio



## 2.1. CLIMATOLOGÍA

La información obtenida para este estudio proviene de las siguientes instituciones: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y Departamento General de Irrigación (DGI).

En la Tabla 2.1.1 se presenta un resumen de las estaciones de medición y de las variables observadas. Las observaciones diarias fueron procesadas a fin de obtener series en escala mensual, anual y valores extremos máximos y mínimos anuales. Dado que existen datos faltantes, en las series mensuales se consideró como sin información (s/d) a aquellos años en los que faltaran siete o más días en total.

Los registros de precipitación de las estaciones La Consulta y Valle de Uco determinan un promedio anual en la zona de 356.1 y 428.7 mm, respectivamente. El período de mayor precipitación se produce entre octubre y marzo, aunque en algunos años se observan totales mensuales máximos iguales o mayores al 30% de la pluviometría anual para los meses de junio y julio. Esta variabilidad se manifiesta en los coeficientes de variación ( $C_V$ ) de los meses de invierno.

El análisis de la serie de precipitación total anual en Valle de Uco (Figura 2.1.1) muestra que los valores máximos y mínimos fueron observados en los años hidrológicos 2001/02 (704 mm) y 1971/72 (107 mm). En las Tablas 2.1.2 y 2.1.3 se presentan las series de valores totales mensuales y anuales para las dos estaciones y en la Figura 2.1.2 se presenta la serie de precipitación total anual en La Consulta.

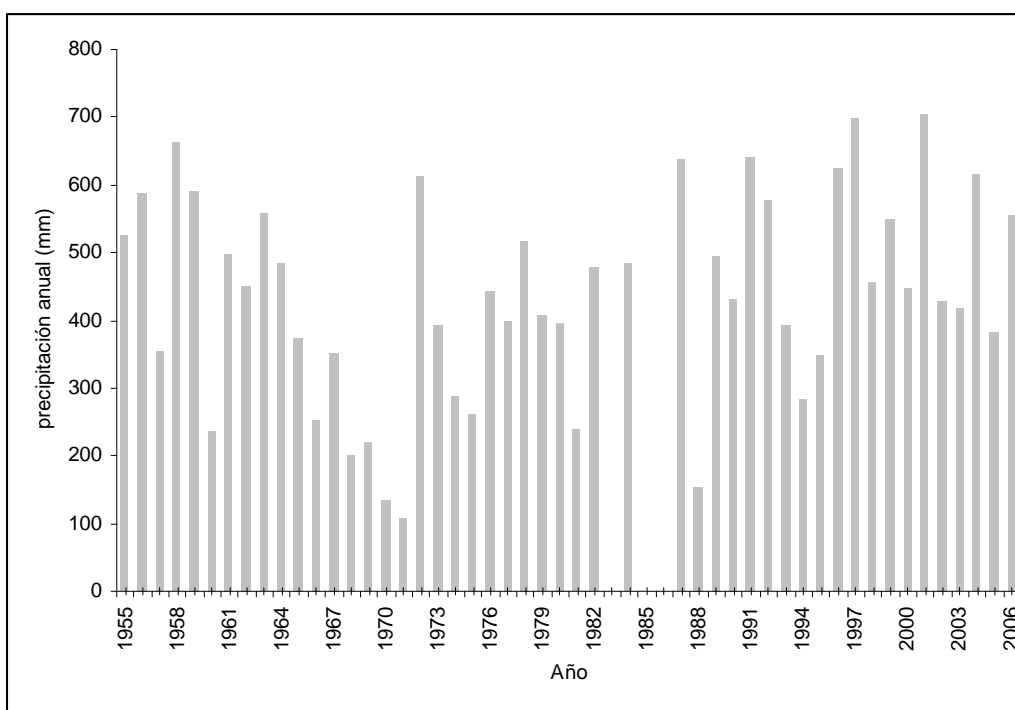
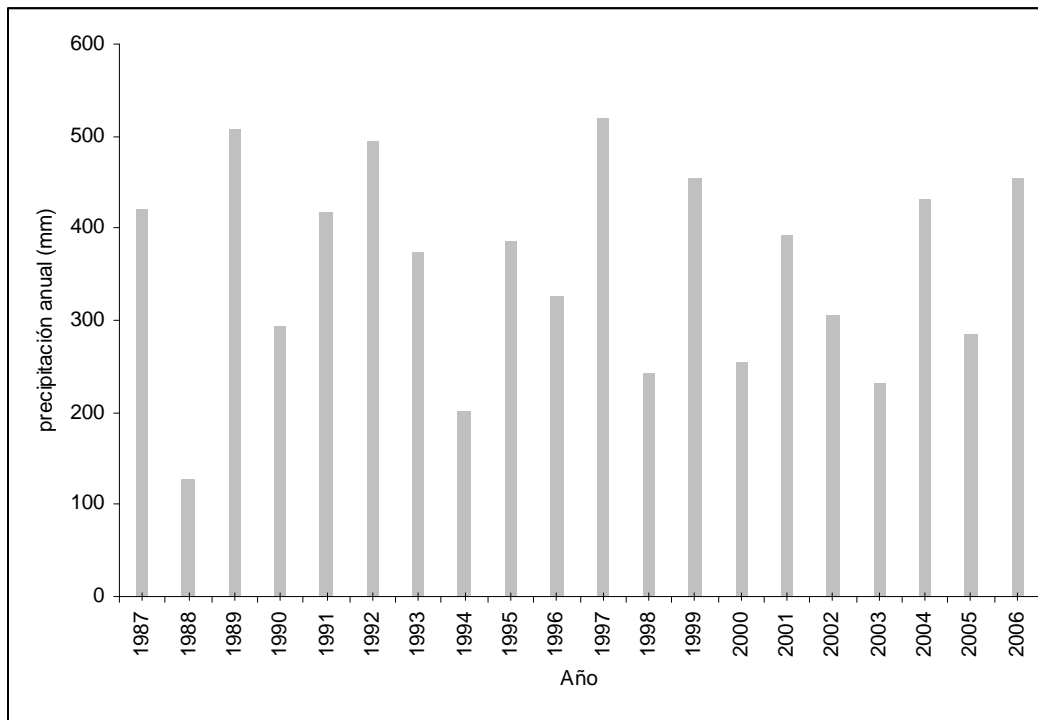


Figura 2.1.1 Valores totales anuales de precipitación en Valle de Uco



**Figura 2.1.2 Valores totales anuales de precipitación en La Consulta**

Las series de temperaturas medias mensuales máximas y mínimas y los valores extremos máximos y mínimos diarios de estas variables, observadas en la estación Valle de Uco, se presentan en las Tablas 2.1.4 y 2.1.5. Las Tablas 2.1.6 y 2.1.7 presentan las series de las estaciones Salinillas y Palomares del DGI, únicas disponibles en alta montaña.

En la Tabla 2.1.8 se presentan variables meteorológicas procesadas para el período climático 1978-2007 por el INTA para la estación La Consulta.

Las tablas anteriores muestran variaciones en los valores medios mensuales de temperatura considerables en los meses de invierno, siendo estas variaciones más importantes para los valores medios de temperaturas mínimas.

**Tabla 2.1.1. Detalle de la información meteorológica utilizada**

Institución	Estación	Latitud S	Longitud W	Altitud m.s.n.m.	Variable observada	Período de observación	Registro
SSRH	Valle de Uco	33° 47'	69° 15'	1200	precipitación	diario	01/01/1955-31/03/2008
					temperatura bulbo seco	diario	01/03/1962-31/03/2008
					temperatura bulbo húmedo	diario	04/01/1993-31/03/2008
					temperatura máxima	diario	01/03/1962-31/03/2008
					temperatura mínima	diario	01/03/1962-31/03/2008
INTA	La Consulta	33° 42''	69° 04' 27''	940	precipitación	diario	01/01/1987-26/05/2008
					temperatura máxima	diario	01/09/1968 -26/05/2008
					temperatura mínima	diario	01/09/1968 -26/05/2008
					temperatura media	diario	01/09/1968 -01/08/1993
					temperatura rocío	diario	01/09/1968 -01/08/1993
					velocidad viento media	diario	01/09/1968 -01/08/1993
					velocidad viento máxima	diario	01/01/2005-31/05/2008
					humedad relativa máxima	diario	01/01/2005-31/05/2008
					humedad relativa mínima	diario	01/01/2005-31/05/2008
					nubosidad	diario	01/01/2005-31/05/2008
evaporación	diario	01/01/2005-31/05/2008					
DGI	Palomares	33° 27'	69° 50'	2900	temperatura máxima	diario	02/09/2000-11/03/2008
					temperatura mínima	diario	02/09/2000-11/03/2008
					temperatura media	diario	02/09/2000-11/03/2008
	Salinillas	33° 52'	69° 47'	2616	temperatura máxima	diario	01/01/2000-11/03/2008
					temperatura mínima	diario	01/01/2000-11/03/2008
					temperatura media	diario	01/01/2000-11/03/2008

**Tabla 2.1.2. Valores totales de precipitación (mm) observados en la estación Valle de Uco**

Año Hidrológico	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Total Anual
54-55	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	6.7	71.8	39.9	68.2	8.7	0.0	s/d
55-56	12.8	10.8	12.2	109.6	110.4	0.0	43.7	15.9	54.5	53.5	44.1	58.9	526.4
56-57	6.2	53.5	22.3	144.6	77.3	0.0	7.2	40.2	36.0	70.2	101.3	29.8	588.6
57-58	16.0	0.0	34.3	70.1	54.8	25.4	10.5	12.6	92.4	0.9	3.2	34.1	354.3
58-59	32.3	117.3	54.3	56.6	60.6	62.8	46.5	55.6	28.8	62.6	44.1	41.5	663.0
59-60	4.4	103.3	13.8	82.4	20.4	75.0	73.0	27.8	54.1	0.0	44.2	93.1	591.5
60-61	9.1	0.0	40.8	43.2	0.0	21.8	0.0	8.0	60.2	0.0	32.7	19.7	235.5
61-62	0.0	54.3	104.8	10.4	2.8	23.5	18.1	74.7	18.8	31.5	33.2	126.4	498.5
62-63	20.3	24.5	15.2	33.6	27.7	106.2	20.2	135.4	44.4	2.2	0.0	20.2	449.9
63-64	20.2	19.8	114.3	61.8	98.0	45.2	27.0	3.0	94.7	39.8	20.0	13.3	557.1
64-65	13.5	0.0	38.4	58.4	58.5	48.7	154.8	21.7	26.3	17.9	0.0	45.7	483.9
65-66	14.1	78.1	9.2	8.1	16.0	10.6	29.2	27.0	24.6	145.0	9.5	1.2	372.6
66-67	14.2	0.0	7.8	10.3	44.1	47.8	9.8	43.8	60.3	0.0	13.7	0.0	251.8
67-68	25.5	0.0	12.7	88.2	16.2	24.0	51.1	23.0	43.3	55.6	4.4	7.0	351.0
68-69	0.0	0.0	45.4	93.4	3.4	0.0	3.7	23.5	8.3	0.0	11.6	12.5	201.8
69-70	18.3	8.5	4.5	16.2	9.5	11.7	48.8	18.7	67.9	0.0	13.1	4.1	221.3
70-71	0.0	2.4	0.0	5.8	17.1	10.3	17.5	5.6	24.7	25.0	6.8	18.3	133.5
71-72	0.0	25.6	16.9	18.5	0.0	2.5	13.1	3.6	9.5	5.6	5.1	6.8	107.2
72-73	52.1	31.8	10.8	50.6	149.5	61.0	33.9	16.9	103.8	95.8	0.0	5.7	611.9
73-74	58.4	0.0	0.0	50.7	63.6	30.1	4.5	109.5	0.3	0.0	11.9	62.9	391.9
74-75	0.0	7.7	5.4	11.3	11.6	53.5	9.3	1.5	100.8	15.3	51.4	19.6	287.4
75-76	8.5	18.0	42.0	4.5	80.7	0.7	0.0	66.4	2.0	18.5	17.1	2.0	260.4
76-77	0.0	25.0	35.2	14.1	153.0	24.6	95.8	29.5	10.8	11.1	20.4	24.0	443.5
77-78	65.5	5.7	13.2	39.1	23.3	124.2	43.1	s/d	64.1	0.3	6.4	13.5	s/d
78-79	52.0	35.0	26.0	4.8	10.5	s/d	161.2	75.5	99.4	25.9	26.0	0.6	s/d
79-80	34.9	24.5	80.1	10.5	39.2	0.0	35.2	51.4	28.0	61.7	27.3	13.9	406.7
81-82	24.0	16.7	7.4	21.2	16.5	0.0	22.3	27.7	3.0	13.8	11.6	75.3	239.5
82-83	79.0	24.0	98.0	0.0	27.9	1.8	142.8	7.8	5.4	37.2	20.1	34.2	478.2

**Tabla 2.1.2. Valores totales de precipitación (mm) observados en la estación Valle de Uco (Continuación)**

Año Hidrológico	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Total Anual
83-84	s/d	68.0	78.0	24.0	30.4	24.5	67.7	45.0	141.2	10.2	33.2	41.6	s/d
84-85	108.7	9.5	51.6	14.8	94.9	144.9	43.5	4.6	6.3	3.1	2.6	0.0	484.5
85-86	57.7	11.2	29.7	44.1	88.2	45.4	18.6	13.5	37.7	2.1	s/d	s/d	s/d
86-87	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	24.6	s/d
87-88	216.4	104.9	35.0	44.4	82.0	28.1	10.2	86.9	23.9	2.2	3.4	0.0	637.4
88-89	0.0	9.0	17.2	10.1	30.0	18.1	21.0	8.8	0.9	20.0	15.7	3.3	154.1
89-90	9.3	69.9	47.5	30.5	2.5	28.6	28.7	171.2	63.1	20.0	15.0	9.3	495.6
90-91	7.8	29.9	59.6	42.3	22.7	31.8	81.0	69.9	37.9	10.7	27.1	10.0	430.7
91-92	80.6	1.1	54.5	45.2	72.3	120.0	68.7	30.1	35.0	74.2	41.0	18.1	640.8
92-93	20.6	18.0	37.3	22.9	81.4	150.0	30.6	39.8	36.4	37.9	65.2	37.1	577.2
93-94	17.0	10.0	73.9	68.4	28.3	6.0	32.4	61.3	24.1	70.4	0.0	0.5	392.3
94-95	70.3	1.5	4.3	61.2	8.3	41.3	2.0	57.7	9.8	4.8	14.5	6.4	282.1
95-96	2.8	16.8	17.1	54.0	21.4	7.5	54.5	1.2	41.5	50.4	30.7	51.2	349.1
96-97	0.0	3.5	26.3	37.4	2.0	150.4	76.0	11.7	173.8	0.0	20.7	122.8	624.6
97-98	14.2	34.0	67.5	25.5	58.2	110.0	56.5	153.5	59.0	95.5	14.0	10.3	698.2
98-99	0.0	3.0	51.5	16.5	89.5	6.5	40.0	46.5	130.5	43.0	27.6	0.5	455.1
99-00	43.0	59.5	28.0	75.5	43.0	18.5	23.0	13.0	33.1	75.0	83.1	54.0	548.7
00-01	50.0	6.5	11.5	44.4	64.6	4.5	11.5	24.0	128.6	29.0	46.6	27.5	448.7
01-02	62.0	27.0	67.0	114.0	5.0	41.0	72.1	193.7	18.9	44.6	58.6	s/d	s/d
02-03	46.1	69.9	29.5	79.5	33.2	66.1	18.1	0.0	44.9	30.7	6.1	3.5	427.6
03-04	1.9	2.6	7.5	0.0	5.0	0.0	18.8	97.2	93.1	66.0	97.7	27.6	417.4
04-05	34.0	57.3	50.8	75.9	89.7	22.3	17.5	62.2	89.4	32.4	26.2	58.5	616.2
05-06	4.0	115.8	63.5	61.9	20.6	10.0	8.0	27.5	42.0	21.0	6.0	3.2	383.5
06-07	63.0	0.0	18.8	45.5	48.0	23.5	66.0	12.4	112.5	46.0	21.5	98.5	555.7
Promedio	30.2	27.8	35.8	43.8	43.9	38.4	40.5	43.7	50.4	32.6	25.2	27.3	428.7
Máximo	216.4	117.3	114.3	144.6	153.0	150.4	161.2	193.7	173.8	145.0	101.3	126.4	698.2
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	107.2
C <sub>v</sub>	1.25	1.17	0.78	0.75	0.87	1.10	0.95	1.03	0.81	0.97	0.94	1.15	0.35

**Tabla 2.1.3. Valores totales de precipitación (mm) observados en la estación La Consulta**

Año Hidrológico	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	Total Anual
87-88	117.9	76.9	1.2	30.0	82.6	23.3	11.5	23.1	47.2	3.0	4.3	0.0	421.0
88-89	0.0	0.3	21.0	3.2	19.0	24.6	24.6	9.9	0.2	6.3	14.3	3.5	126.9
89-90	8.0	21.4	3.8	28.0	2.0	52.7	141.1	140.0	45.8	42.5	17.7	5.0	508.0
90-91	13.0	17.0	19.0	89.0	9.6	27.0	65.9	28.0	20.0	2.5	1.0	1.8	293.8
91-92	47.8	0.0	20.1	15.8	28.7	68.4	103.8	19.5	48.0	33.0	26.5	5.5	417.1
92-93	8.5	17.0	34.5	1.2	48.5	205.5	39.0	33.0	31.3	34.0	25.5	16.5	494.5
93-94	11.0	10.0	26.0	65.7	29.0	41.5	79.5	44.5	45.0	21.0	0.0	0.0	373.2
94-95	22.0	1.0	2.5	57.5	26.5	3.5	17.8	44.1	14.0	2.5	10.0	0.5	201.9
95-96	1.5	17.0	16.0	49.0	93.5	12.5	81.1	4.0	18.5	51.5	18.0	24.5	387.1
96-97	0.0	1.0	11.0	7.0	5.0	113.5	30.2	1.0	18.9	12.0	12.0	114.5	326.1
97-98	13.5	10.5	33.0	15.9	24.5	110.0	25.1	134.2	56.0	72.0	23.0	3.0	520.7
98-99	0.0	0.0	42.0	19.0	11.0	0.0	21.0	4.5	59.0	71.5	8.7	6.5	243.2
99-00	18.0	27.0	19.5	54.0	52.0	51.0	57.5	5.5	44.0	49.5	34.5	42.5	455.0
00-01	23.5	2.0	3.2	36.5	18.5	0.5	12.0	6.0	77.5	25.0	24.0	25.5	254.2
01-02	42.3	5.0	28.0	117.3	27.2	13.0	54.5	38.4	10.1	41.5	4.8	9.5	391.6
02-03	10.0	42.0	23.5	46.0	5.5	109.5	1.6	3.5	10.5	45.0	4.5	4.0	305.6
03-04	1.0	6.5	7.0	0.0	12.0	0.5	10.2	20.8	49.7	20.0	91.0	12.5	231.2
04-05	14.6	34.9	12.0	63.0	56.5	24.0	9.0	84.5	102.9	13.7	9.0	6.7	430.8
05-06	19.0	82.0	22.5	46.5	4.0	25.9	2.7	39.7	5.5	28.8	1.0	7.2	284.8
06-07	83.5	0.0	19.2	14.1	41.5	5.8	38.5	4.0	165.6	13.3	6.0	63.0	454.5
Promedio	22.8	18.6	18.3	37.9	29.9	45.6	41.3	34.4	43.5	29.4	16.8	17.6	356.1
Máximo	117.9	82.0	42.0	117.3	93.5	205.5	141.1	140.0	165.6	72.0	91.0	114.5	520.7
Mínimo	0.0	0.0	1.2	0.0	2.0	0.0	1.6	1.0	0.2	2.5	0.0	0.0	126.9
C <sub>v</sub>	1.32	1.30	0.62	0.82	0.86	1.16	0.90	1.18	0.89	0.73	1.19	1.58	0.31

**Tabla 2.1.4. Valores medios mensuales y extremos de temperatura máxima observados (°C) en Valle de Uco**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
1962	s/d	s/d	27.3	18.7	16.7	13.1	10.5	16.0	17.7	20.7	26.9	27.4	s/d	s/d
1963	27.6	24.9	23.4	23.9	17.7	15.1	15.5	14.7	13.2	17.8	19.6	28.0	35.0	4.0
1964	28.3	28.5	22.3	20.0	17.8	12.2	12.3	15.2	18.7	20.2	24.0	26.5	35.0	1.0
1965	28.1	28.1	24.7	20.4	14.8	16.3	12.2	13.7	16.9	23.1	26.5	27.1	35.0	0.0
1966	30.4	26.0	26.1	19.1	20.4	14.5	12.9	13.9	s/d	21.6	24.1	25.0	34.0	2.0
1967	28.8	27.8	23.5	23.7	19.1	10.5	12.9	15.1	18.1	20.9	25.1	29.9	35.0	-2.0
1968	28.6	29.1	22.4	19.0	18.1	13.1	16.4	16.5	17.6	19.4	27.0	s/d	s/d	-6.0
1969	31.7	29.0	23.9	s/d	s/d	13.3	14.7	15.7	21.1	20.5	25.3	s/d	s/d	s/d
1970	s/d	s/d	s/d	s/d	18.5	12.4	13.2	16.9	21.2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1971	28.2	29.3	25.5	19.6	17.2	10.1	17.0	16.0	21.7	22.6	28.7	30.4	36.0	2.0
1972	31.0	28.2	22.9	19.3	16.8	s/d	s/d	s/d	s/d	18.8	21.5	s/d	s/d	s/d
1973	29.3	28.2	24.0	17.9	15.7	15.0	9.0	s/d	17.5	21.1	22.8	26.5	34.0	s/d
1974	30.3	24.0	24.8	22.8	16.7	12.2	12.4	16.6	15.6	23.2	25.3	24.9	35.0	-2.0
1975	29.6	27.8	22.7	20.0	14.8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1976	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	14.3	16.0	20.7	24.3	27.1	s/d	s/d
1977	28.1	26.3	26.6	22.9	17.9	14.3	12.4	15.7	20.6	23.5	26.6	25.7	36.0	0.0
1978	26.4	s/d	23.9	22.6	18.6	14.2	14.9	13.6	19.0	22.4	s/d	28.6	35.0	4.0
1979	27.9	26.1	23.2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1980	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1981	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1982	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1983	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1984	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	15.0	22.4	22.4	24.3	s/d	s/d
1985	26.4	27.5	26.0	21.7	19.9	16.6	11.8	16.3	18.9	19.7	25.1	27.5	33.0	3.0
1986	29.7	27.8	23.3	21.0	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1987	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	16.5	12.2	9.7	16.3	20.7	24.2	26.3	s/d	s/d
1988	27.9	27.3	24.5	20.9	13.9	14.3	9.1	14.0	15.7	21.6	27.0	28.6	35.0	1.0
1989	29.2	29.7	23.8	21.4	15.5	14.6	11.6	14.3	15.0	21.3	24.8	27.4	35.0	2.0
1990	28.1	23.4	19.6	21.8	16.3	14.7	11.2	16.0	15.7	21.4	26.2	27.1	36.0	-2.0
1991	27.1	26.4	23.9	20.0	16.3	12.6	9.9	s/d	18.0	s/d	22.9	25.1	34.0	-1.0
1992	27.1	25.4	25.5	18.9	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	24.3	s/d	s/d
1993	28.4	28.1	25.7	20.5	14.3	13.3	11.6	16.0	16.1	19.4	22.7	28.7	34.0	0.0
1994	28.9	26.8	24.1	18.7	17.4	15.3	10.1	14.2	18.5	20.1	26.4	30.1	36.0	0.5
1995	28.6	26.0	24.9	21.5	18.5	13.3	11.7	13.1	17.1	22.1	25.7	30.6	36.0	0.5
1996	27.6	27.1	25.2	18.0	16.7	10.7	13.5	15.8	16.4	21.4	26.9	25.8	33.0	-2.0
1997	28.2	27.0	21.9	21.6	15.1	11.4	14.0	14.0	15.2	16.6	22.9	25.1	33.5	2.0
1998	27.8	21.1	22.7	16.5	16.2	11.8	14.7	14.5	15.4	22.6	24.4	28.4	34.0	3.0
1999	26.3	30.3	21.2	15.9	13.6	7.8	11.4	13.6	17.8	17.8	21.2	23.6	34.5	-2.0
2000	26.8	25.6	22.5	20.2	14.7	9.8	9.6	11.5	14.9	20.2	21.9	28.5	33.5	-4.0
2001	29.9	30.3	25.2	18.1	13.2	14.3	11.6	14.7	14.2	18.6	22.0	27.5	36.5	3.0
2002	25.8	24.6	23.5	18.9	16.5	12.0	15.1	14.7	18.6	23.4	27.1	26.6	34.2	1.2
2003	30.1	30.0	25.9	19.4	17.0	15.9	13.7	15.0	19.4	25.1	27.5	28.1	39.0	2.0
2004	30.7	26.2	24.8	19.7	11.9	14.7	12.5	13.8	17.6	21.5	22.2	28.1	35.0	2.0
2005	29.1	26.7	24.6	18.7	16.3	12.9	13.3	14.0	15.5	20.2	27.8	29.1	34.4	2.1
2006	30.5	28.0	26.6	22.4	16.3	15.1	14.5	15.6	17.5	23.0	24.9	29.7	37.8	1.6
2007	29.7	26.7	24.3	21.7	13.7	13.3	12.9	10.1	16.7	22.5	24.8	29.1	35.2	-1.2
Prom.	28.6	27.1	24.1	20.2	16.4	13.3	12.6	14.6	17.2	21.1	24.7	27.3	35.0	0.5
Máx.	31.7	30.3	27.3	23.9	20.4	16.6	17.0	16.9	21.7	25.1	28.7	30.6	39.0	4.0
Mín.	25.8	21.1	19.6	15.9	11.9	7.8	9.0	9.7	13.2	16.6	19.6	23.6	33.0	-6.0

**Tabla 2.1.5. Valores medios mensuales y extremos de temperatura mínimas observados (°C) en Valle de Uco**

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
1962	s/d	s/d	14.9	5.5	0.9	-1.3	-2.1	1.6	1.5	8.2	13.4	12.8	s/d	-8.0
1963	13.3	12.8	8.2	7.6	3.8	-0.8	2.6	-1.2	1.1	6.2	8.3	13.6	26.0	-10.0
1964	12.4	10.9	9.2	5.9	4.0	0.8	0.5	1.6	3.8	6.7	9.7	11.7	20.0	-8.0
1965	12.6	13.1	9.2	6.0	1.4	2.3	-0.9	1.7	2.2	6.8	9.6	10.5	19.0	-8.0
1966	14.4	9.7	10.3	8.0	4.4	0.1	-0.5	0.1	s/d	5.6	10.4	10.3	25.0	-7.0
1967	12.3	12.0	10.1	7.9	4.4	-2.5	-1.6	1.3	1.8	7.0	9.1	13.7	20.0	-11.0
1968	11.9	12.6	8.2	5.0	2.6	0.1	0.4	2.1	3.7	6.7	10.7	s/d	s/d	-6.0
1969	13.8	11.9	9.8	s/d	s/d	1.8	0.1	3.6	4.3	5.5	10.1	s/d	s/d	s/d
1970	s/d	s/d	s/d	s/d	3.1	-0.7	-0.6	0.8	3.3	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1971	11.5	11.0	9.1	3.5	1.0	-2.0	1.0	1.2	5.5	6.6	11.2	12.6	18.0	-7.0
1972	14.6	13.1	9.8	6.6	3.1	s/d	s/d	s/d	s/d	5.1	8.6	s/d	s/d	s/d
1973	12.5	11.5	10.6	5.6	1.8	0.8	-2.0	s/d	1.7	5.9	8.7	10.5	18.0	s/d
1974	12.6	11.5	9.4	5.2	3.2	-1.3	-0.8	0.4	2.2	6.6	8.6	10.9	18.0	-8.0
1975	13.0	11.8	10.1	6.6	2.9	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1976	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1.3	2.6	5.7	9.9	11.6	s/d	s/d
1977	13.3	11.8	10.2	7.1	2.6	1.7	-0.3	1.5	4.1	7.8	10.3	13.0	18.0	-6.0
1978	12.1	s/d	10.9	6.6	3.8	-0.5	2.2	-1.4	4.3	7.8	s/d	12.5	16.0	-8.0
1979	13.9	12.3	9.7	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1980	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1981	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1982	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1983	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1984	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	5.2	9.4	10.0	11.0	s/d	s/d
1985	12.1	11.6	10.5	5.6	4.4	2.2	0.1	2.6	4.8	7.6	12.1	14.7	20.0	-6.0
1986	14.7	13.4	9.9	7.1	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
1987	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1.5	0.6	0.4	2.0	8.2	10.6	11.4	s/d	s/d
1988	12.2	12.2	11.9	6.1	0.4	-1.3	-3.2	-0.3	2.3	7.1	11.4	13.7	20.0	-12.0
1989	15.1	14.9	10.0	6.8	2.2	1.9	-2.4	0.3	2.5	6.1	9.7	13.4	19.0	-11.0
1990	13.9	12.8	8.8	6.9	2.0	-0.2	-2.4	1.0	1.9	8.8	11.2	12.7	21.0	-9.0
1991	13.4	13.7	12.0	7.9	3.2	0.3	-1.9	0.5	4.7	5.5	10.8	11.3	18.0	-10.0
1992	13.1	10.1	11.7	5.8	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	11.5	s/d	s/d
1993	16.8	13.8	12.2	6.9	2.9	2.2	-1.2	1.3	2.7	7.1	9.3	12.6	23.0	-10.0
1994	14.5	12.0	9.7	6.2	4.3	2.1	-0.4	0.8	4.4	6.3	10.3	15.3	20.0	-8.0
1995	13.0	11.6	9.8	6.0	3.8	0.7	-1.0	0.4	3.9	6.7	10.5	15.3	20.0	-9.0
1996	13.5	12.9	12.1	5.3	4.6	-1.9	-1.3	3.2	2.3	7.7	11.7	13.7	19.0	-8.0
1997	16.0	11.6	10.4	7.4	4.5	1.2	0.8	1.4	4.0	5.4	8.9	11.9	20.0	-5.5
1998	12.8	10.6	9.3	6.5	4.0	1.0	0.3	0.1	1.6	7.5	10.3	12.5	18.0	-5.0
1999	12.1	13.8	10.1	5.5	3.9	-0.8	-2.1	0.7	5.9	6.8	8.9	11.9	21.5	-10.0
2000	13.3	12.4	10.8	9.8	5.5	0.8	-3.2	0.1	0.9	6.3	8.1	12.3	17.5	-12.0
2001	15.3	15.1	11.5	6.3	3.6	0.9	0.7	1.8	3.1	7.4	8.6	11.6	22.0	-9.0
2002	13.0	11.4	10.5	5.7	4.1	-0.7	0.2	1.3	3.7	7.5	8.2	12.3	17.0	-6.5
2003	13.4	11.8	11.9	7.6	4.3	3.6	-0.7	-0.1	4.9	8.9	11.0	10.4	17.6	-6.4
2004	15.4	13.8	12.6	7.3	2.0	1.1	0.8	2.0	4.6	7.6	9.9	13.0	19.0	-6.4
2005	13.9	14.3	10.0	4.9	2.8	2.5	0.1	2.1	3.0	6.3	8.6	10.6	20.5	-8.2
2006	13.0	13.6	9.6	6.5	2.8	2.1	2.4	2.2	3.2	7.3	10.2	12.9	19.6	-5.6
2007	14.5	11.7	10.4	6.6	0.7	-1.5	-1.2	-3.0	4.2	7.8	9.1	10.9	19.2	-13.6
Prom	13.5	12.4	10.4	6.4	3.1	0.5	-0.5	1.0	3.3	7.0	9.9	12.3	19.7	-8.3
Máx.	16.8	15.1	14.9	9.8	5.5	3.6	2.6	3.6	5.9	9.4	13.4	15.3	26.0	-5.0
Mín.	11.5	9.7	8.2	3.5	0.4	-2.5	-3.2	-3.0	0.9	5.1	8.1	10.3	16.0	-13.6



**Tabla 2.1.6. Valores medios mensuales y extremos de temperatura (°C) observados en Salinillas**

<b>Temperatura Máxima</b>														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
2000	20.1	18.6	17.4	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	7.1	11.9	14.3	s/d	24.8	s/d
2001	s/d	23.5	19.0	13.8	s/d	7.4	5.1	7.7	9.7	s/d	s/d	21.3	s/d	-10.5
2002	19.9	20.3	19.1	13.0	10.5	4.7	s/d	7.1	8.3	10.5	15.1	17.4	26.1	s/d
2003	20.7	19.8	19.4	15.7	11.6	8.3	s/d	8.9	10.6	s/d	16.7	18.3	26.8	s/d
2004	21.8	19.9	s/d	s/d	9.5	7.9	6.7	9.0	10.8	s/d	13.3	18.7	25.5	-8.3
2005	20.1	21.3	17.3	12.4	6.0	7.2	7.0	7.5	11.4	12.2	14.9	17.9	26.1	-7.1
2006	21.7	19.7	18.1	s/d	12.6	8.7	7.2	8.2	10.4	13.0	15.8	s/d	26.8	-5.1
2007	20.8	18.4	17.0	14.5	10.0	4.1	3.6	4.1	9.0	12.0	s/d	18.5	26.9	-15.0

<b>Temperatura Mínima</b>														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
2000	5.4	4.8	4.2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	-4.3	1.2	1.5	s/d	11.9	s/d
2001	s/d	6.4	3.5	0.3	s/d	-3.2	-5.3	-5.2	-4.0	s/d	s/d	5.1	s/d	-17.1
2002	4.9	5.4	6.5	1.2	-1.8	-6.2	s/d	-3.4	-3.4	0.0	2.1	4.8	13.0	s/d
2003	5.1	5.0	4.2	1.8	-2.2	-0.7	s/d	-2.9	-1.8	s/d	2.7	4.4	14.0	s/d
2004	5.9	5.7	s/d	s/d	-3.4	-2.6	-3.3	-3.9	-1.8	s/d	1.9	5.6	10.9	-18.7
2005	6.3	4.7	3.9	-0.3	-2.6	-0.5	-6.2	-3.3	-7.2	-1.4	4.0	5.8	15.1	-17.3
2006	6.8	6.4	3.9	s/d	0.4	0.3	-2.3	-4.2	-2.3	0.4	3.1	s/d	12.8	-15.1
2007	6.5	5.0	3.9	1.1	-3.5	-7.2	-6.3	-8.2	-1.7	1.4	s/d	4.4	14.0	-20.6

<b>Temperatura Media</b>														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
2000	14.4	11.8	11.2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	1.0	6.8	8.2	s/d	19.6	s/d
2001	s/d	15.6	11.4	6.9	s/d	1.6	-0.5	0.6	1.6	s/d	s/d	13.6	s/d	-10.5
2002	12.9	12.8	13.1	7.4	4.3	-1.1	s/d	1.8	2.5	5.2	9.0	11.5	16.9	s/d
2003	13.7	13.0	12.0	8.9	4.7	3.5	0.6	s/d	4.4	s/d	10.4	12.0	17.3	s/d
2004	14.5	12.7	s/d	s/d	2.6	2.8	1.2	1.9	4.5	s/d	7.7	12.7	17.4	-10.9
2005	13.5	13.3	10.9	6.7	s/d	2.9	-0.5	1.2	0.3	4.6	9.4	12.9	17.4	-7.9
2006	14.9	13.7	11.2	s/d	6.3	4.1	1.8	1.4	3.8	6.7	9.4	s/d	18.4	-6.3
2007	14.1	12.0	10.6	8.2	2.4	-1.9	-1.8	-2.6	3.7	7.3	8.8	12.0	17.9	-15.2

**Tabla 2.1.7. Valores medios mensuales y extremos de temperatura (°C) observados en Palomares**

<b>Temperatura Máxima</b>														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
2000	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	4.5	8.2	8.0	13.4	s/d	s/d
2001	s/d	19.5	15.0	9.1	3.4	4.1	1.6	4.9	5.6	10.4	8.6	15.6	s/d	-5.7
2002	14.7	15.9	14.3	7.9	5.7	2.6	s/d	3.2	4.0	6.4	9.2	11.9	20.8	s/d
2003	15.5	15.5	15.1	10.3	7.7	4.5	2.3	5.3	6.5	9.9	11.4	12.9	21.8	-5.7
2004	17.1	16.2	15.2	9.9	6.1	4.2	3.0	4.6	7.0	7.5	9.1	13.9	21.9	-8.0
2005	15.8	17.4	12.9	8.0	2.0	2.8	3.3	2.9	4.7	6.6	s/d	12.5	20.9	-8.2
2006	16.8	16.5	13.9	12.1	8.5	4.2	3.1	3.6	5.4	7.3	10.3	s/d	s/d	-5.1
2007	15.7	13.7	13.0	9.7	4.2	1.1	0.2	0.9	5.1	6.5	s/d	13.9	22.9	-8.8

<b>Temperatura Mínima</b>														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
2000	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	-6.3	-2.1	-1.5	2.7	s/d	s/d
2001	s/d	4.8	2.7	-2.2	-4.0	-6.4	-6.0	-5.4	-6.2	-2.1	-0.5	2.7	s/d	-20.1
2002	2.8	3.6	4.5	-0.6	-2.7	-5.0	s/d	-5.1	-4.9	-2.2	-0.9	1.2	8.9	s/d
2003	3.5	3.2	3.2	0.5	-1.4	-3.1	-6.1	-5.4	-4.4	0.5	1.6	2.6	8.4	-19.2
2004	3.9	2.7	2.5	-0.8	-4.6	-4.5	-4.7	-6.3	-2.4	-1.6	-0.9	3.1	8.8	-20.1
2005	3.4	2.7	2.1	-2.1	-5.1	-3.1	-7.2	-5.5	-9.7	-4.7	s/d	1.9	9.8	-20.1
2006	4.5	3.1	2.3	0.5	-0.8	-2.5	-4.2	-5.8	-4.4	-2.2	-0.3	s/d	s/d	-14.4
2007	3.6	2.7	1.2	-0.8	-5.5	-8.1	-8.5	-10.8	-5.2	-2.6	s/d	1.8	8.8	-20.1

<b>Temperatura Media</b>														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX	MIN
2000	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	-1.5	2.9	3.1	8.1	s/d	s/d
2001	s/d	12.1	8.7	3.1	-0.1	-1.5	-2.4	-1.1	-1.5	3.5	4.1	9.1	s/d	-14.5
2002	8.5	9.1	9.2	3.5	1.3	-1.0	s/d	-1.0	-0.4	2.1	4.4	6.6	13.6	s/d
2003	9.5	9.4	8.8	5.4	3.4	1.0	-1.9	-0.1	1.0	5.2	6.4	7.7	13.8	-11.9
2004	10.6	8.8	8.6	4.3	0.1	-0.1	-1.1	-1.3	2.2	2.8	4.3	8.5	13.1	-11.3
2005	9.6	9.9	7.4	s/d	s/d	-0.1	-2.2	-1.4	-3.7	0.6	5.0	7.4	13.7	s/d
2006	10.5	9.7	8.1	6.5	3.5	0.8	-0.5	-1.4	0.3	2.8	5.1	s/d	s/d	-8.8
2007	9.6	7.7	6.8	4.5	-0.5	-3.7	-4.4	-5.2	-0.2	2.7	5.4	7.3	13.3	-15.9

**Tabla 2.1.8. Valores estación La Consulta período climático 1978-2007**

Meses	T. Media Mensual (°C)	T. Máxima Mensual (°C)	T.Mínima		T.Mínima Absoluta (°C)	H.Relativa Mínima (%)	H. Relativa Máxima (%)	H. Relativa Media (%)	Lluvias (mm)	Heliofanía (h)
			Med. Mensual (°C)	T.Máxima Absoluta (°C)						
Enero	21.6	29.5	14.3	40.3	4.5	13	100	56	44.0	11.8
Febrero	20.3	28.0	12.9	39.1	1.9	22	100	63	49.0	10.6
Marzo	18.5	25.8	11.4	35.5	0.0	25	100	64	42.3	9.9
Abril	14.3	21.2	6.6	33.1	-5.0	15	100	57	42.3	8.8
Mayo	10.5	17.4	2.7	33.7	-8.1	2	100	51	18.9	6.7
Junio	6.9	13.8	-0.6	27.0	-11.1	16	100	58	16.0	6.5
Julio	6.4	13.4	-0.9	27.1	-11.0	9	100	54	20.5	5.0
Agosto	8.3	16.0	0.4	31.3	-11.4	16	100	58	16.1	5.5
Setiembre	10.3	16.9	2.9	30.1	-6.2	16	100	58	22.3	6.3
Octubre	14.7	23.2	7.0	34.6	-2.7	2	100	51	34.8	7.0
Noviembre	17.9	26.3	10.0	37.8	-2.2	2	100	51	29.0	9.0
Diciembre	21.0	27.5	12.3	38.0	0.9	4	100	52	47.9	12.0

## 2.2. HIDROLOGÍA

Los registros de caudales medios diarios desde 01/05/1954 al 30/06/2007 y la serie de caudales máximos instantáneos (1954-2007), suministrados por la SSRH, permitieron la actualización de la Estadística Hidrológica de la República Argentina (EVARSA, 2004) para la estación Valle de Uco (Tabla 2.2.1).

El hidrograma medio anual (Figura 2.2.1) muestra que el período de crecida se produce entre octubre y marzo siendo el proceso generador la fusión nival. Los valores máximos de caudales medios diarios se producen en diciembre o enero. Los mayores máximos instantáneos corresponden a los años hidrológicos 1962/63, 1972/73, 1982/83 y 2001/02, siendo este último de 296.65 m<sup>3</sup>/s, el máximo absoluto registrado en el período de observación.

El DGI proveyó los registros continuos de equivalente agua nieve (EAN) de las estaciones nivológicas que tiene instaladas en la cuenca del Río Tunuyán, Palomares desde 01/10/2000 (Figura 2.2.2) y Salinillas desde 17/07/2001 (Figura 2.2.3). La estación Palomares es la ubicada a mayor altitud (2900 m snm) en la cuenca y el análisis realizado muestra que en el año 2002 se produce la máxima acumulación de EAN alcanzando 985.6 mm (período 2000/07), mientras que el año 2001 presenta el segundo máximo de 790.6 mm (Figura 2.2.2).

Si bien la fecha de inicio de la acumulación nival y de ocurrencia del máximo varía en los años analizados, se observa que en esta estación la nieve permanece hasta fines de noviembre. Dada la corta longitud de los registros en estas estaciones, no se realizó un análisis de frecuencia de valores máximos.

La SSRH dispone de observaciones continuas de EAN en Laguna Diamante desde 01/05/1990 (Figura 2.2.4 y 2.2.5). En el período de observación, los años con mayor acumulación nival son el 2005, con un máximo de 917 mm y el 2002 con 836 mm.

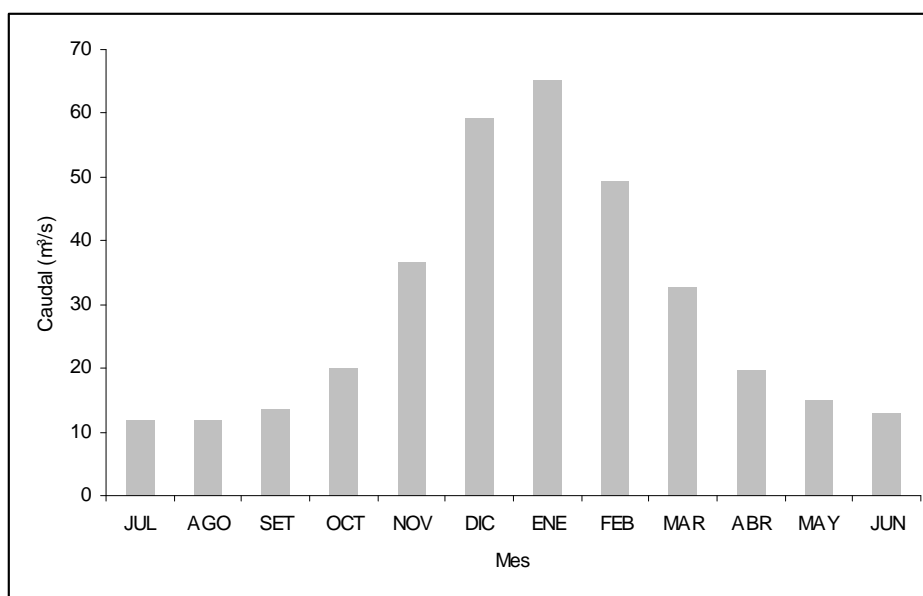
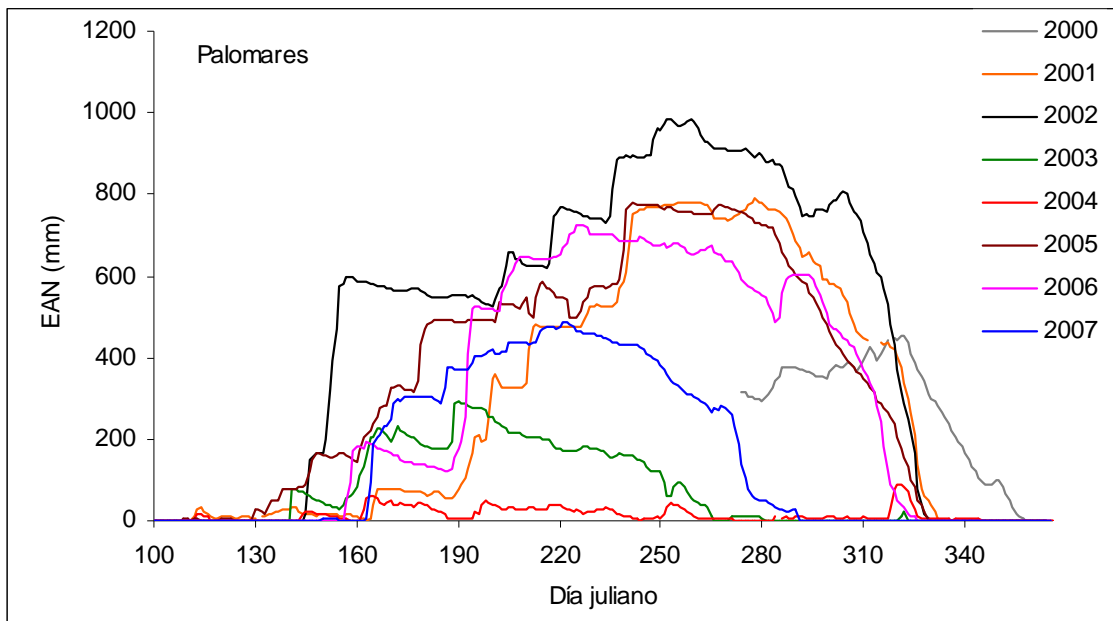
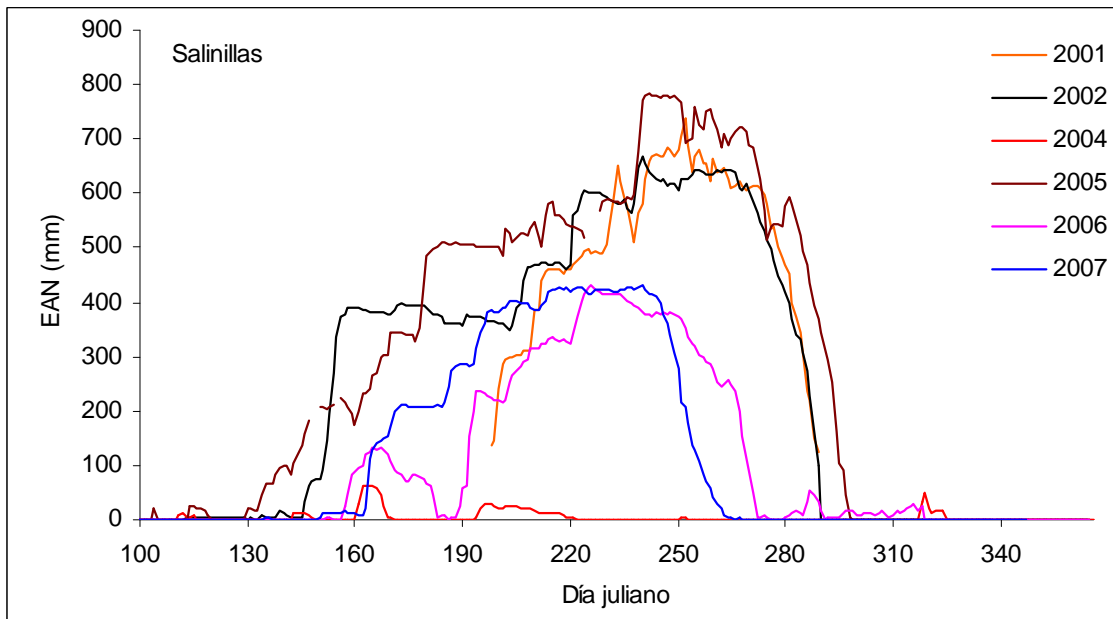


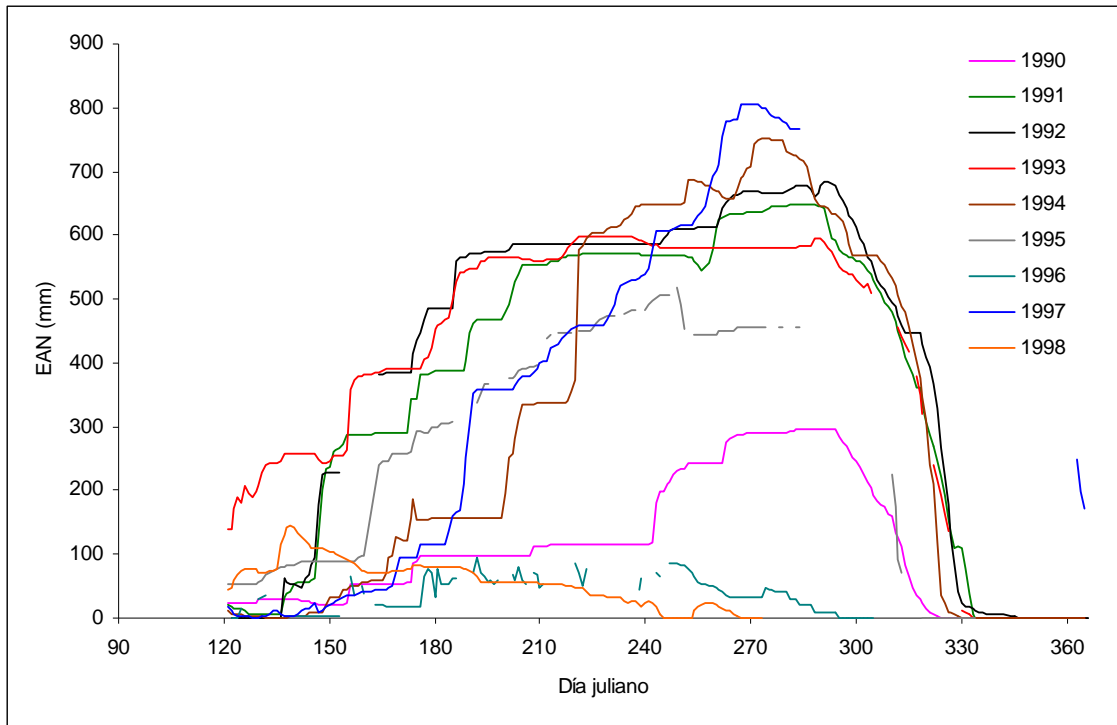
Figura 2.2.1 Caudales medios mensuales promedios en la estación Valle de Uco



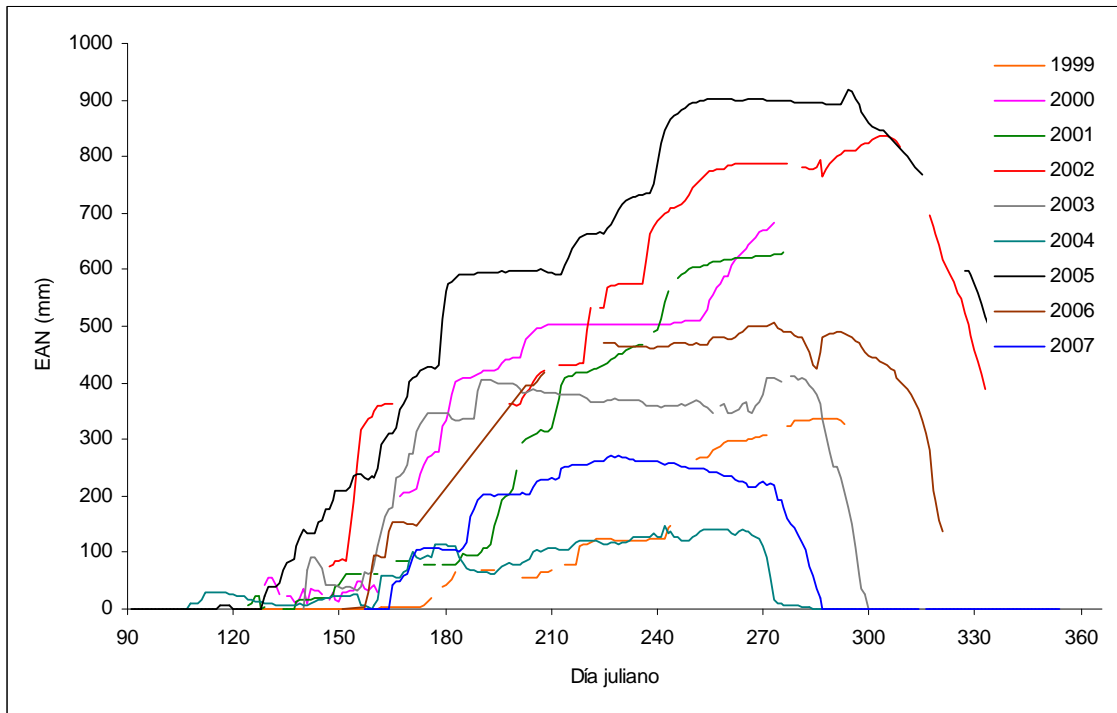
**Figura 2.2.2 Registros de equivalente agua nieve (EAN) estación Palomares (DGI)**



**Figura 2.2.3 Registros de equivalente agua nieve (EAN) estación Salinillas (DGI)**



**Figura 2.2.4 Registros de equivalente agua nieve (EAN) estación Laguna Diamante (SSRH)**



**Figura 2.2.5 Registros de equivalente agua nieve (EAN) estación Laguna Diamante (SSRH)**

**Tabla 2.2.1. Series de caudales en la estación Valle de Uco**

Año Hidrológico	CAUDALES MEDIOS MENSUALES m3/s												CAUDALES (m3/s)		
	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	MÁXIMO MEDIO DIARIO	MÍNIMO MEDIO DIARIO	MEDIO ANUAL
54-55	14.10	15.90	16.00	20.00	33.90	44.50	47.40	29.20	20.60	12.70	10.40	9.80	82.00	7.60	22.88
55-56	8.80	8.70	9.50	12.00	28.00	39.10	33.00	30.80	22.10	13.80	11.40	9.30	54.00	7.70	18.85
56-57	8.70	8.70	10.20	15.50	25.10	28.50	32.30	29.70	22.90	14.70	9.90	11.20	47.20	7.10	18.05
57-58	9.70	9.10	9.80	13.10	24.20	46.30	42.60	31.80	25.00	15.70	11.50	10.10	71.20	7.50	20.71
58-59	9.70	10.50	13.00	28.80	39.00	46.60	43.40	35.50	28.50	17.70	16.10	14.30	84.70	8.25	25.22
59-60	13.00	12.90	16.30	22.80	39.00	65.10	69.80	49.50	27.80	17.60	13.50	12.20	93.00	5.50	29.95
60-61	11.30	11.60	13.30	23.00	42.10	62.30	42.90	37.80	28.00	17.10	14.00	12.70	112.00	10.70	26.30
61-62	11.70	11.80	11.30	22.30	50.80	84.10	71.70	56.60	38.40	23.10	17.80	15.90	132.50	9.40	34.55
62-63	15.10	14.70	14.60	18.60	36.30	45.10	41.30	36.10	25.30	17.60	14.40	12.30	61.00	8.00	24.23
63-64	12.30	11.30	12.50	17.70	23.80	101.00	128.00	78.60	43.40	21.50	15.90	12.60	191.50	6.10	39.92
64-65	11.50	10.90	13.10	14.90	19.90	22.90	33.80	33.10	29.20	17.20	12.30	12.20	53.00	9.50	19.18
65-66	10.70	8.50	12.70	23.80	50.20	54.50	86.50	59.70	35.30	23.30	17.70	14.90	107.60	3.00	33.02
66-67	13.80	13.40	15.00	20.90	40.80	45.50	59.00	55.60	27.30	19.50	14.50	11.70	86.00	10.80	27.93
67-68	11.50	11.60	11.80	14.90	20.10	44.20	41.50	38.60	23.90	14.30	11.10	8.80	55.80	6.80	21.01
68-69	8.50	9.60	9.50	9.50	18.10	20.60	31.30	32.40	24.50	13.00	10.70	9.00	51.50	7.70	16.30
69-70	8.60	8.70	10.90	12.30	25.20	79.40	63.80	51.60	33.60	22.50	15.40	12.70	97.40	7.30	28.66
70-71	11.50	10.10	11.80	14.60	24.10	33.60	29.50	31.80	23.50	14.90	11.60	9.80	47.50	6.00	18.84
71-72	9.80	10.90	15.50	24.50	50.80	50.00	56.70	40.10	25.70	18.20	16.80	12.60	70.90	5.70	27.60
72-73	11.80	12.30	13.80	18.80	42.80	115.00	164.00	114.00	71.70	38.40	27.70	22.20	211.00	9.20	54.16
73-74	18.40	16.00	17.70	23.70	44.30	54.00	68.40	55.00	33.20	22.20	15.80	13.20	103.20	9.00	31.72
74-75	13.30	15.40	15.70	25.90	41.10	48.20	83.20	56.10	36.60	22.10	16.40	13.30	116.80	11.30	32.18
75-76	11.00	11.30	13.30	16.50	22.80	43.10	44.30	28.20	19.90	15.00	10.60	9.30	74.50	4.00	20.46
76-77	8.70	8.90	9.20	9.50	19.50	21.60	31.10	24.90	22.60	12.20	9.90	8.40	47.10	7.10	15.50
77-78	7.30	8.40	13.50	24.50	39.10	74.80	62.80	47.10	28.40	18.40	13.70	10.30	97.00	4.60	28.97
78-79	8.80	12.10	12.20	20.40	36.60	78.00	85.10	52.20	32.60	20.50	16.20	12.10	101.00	4.10	32.20
79-80	11.40	11.90	12.20	20.40	27.20	43.10	69.10	47.70	34.00	24.10	17.90	14.60	82.50	10.90	27.78
80-81	13.90	14.00	19.10	22.10	37.40	72.60	55.60	48.80	39.60	23.30	18.30	14.50	92.50	12.40	31.55
81-82	12.50	12.30	12.50	17.40	30.60	41.20	48.90	39.40	26.30	17.30	12.70	10.10	58.20	1.00	23.37
82-83	12.00	12.90	17.80	23.00	46.70	107.00	130.00	91.50	63.20	35.80	24.60	18.20	203.00	10.40	48.41

83-84	16.20	15.30	15.60	23.70	41.20	75.80	73.70	51.50	31.10	18.20	13.10	11.40	100.50	10.50	32.24
84-85	11.30	11.00	12.50	21.70	32.30	63.90	82.40	56.00	45.10	24.50	17.50	14.90	126.00	7.40	32.70
85-86	13.70	13.30	13.40	15.20	43.20	57.90	60.60	48.90	27.60	16.40	13.50	16.20	78.00	6.20	28.22
86-87	14.60	13.60	16.20	30.60	52.30	115.00	116.00	83.00	55.90	26.10	17.80	15.20	181.10	10.00	46.26
87-88	14.10	14.40	15.80	25.90	70.40	103.00	102.00	76.40	43.90	28.10	20.20	16.20	135.50	11.22	44.15
88-89	14.30	13.20	14.30	19.80	33.10	40.40	47.70	49.30	26.90	16.30	12.10	10.80	67.92	10.08	24.72
89-90	9.90	9.50	11.70	19.80	45.30	52.50	53.20	39.10	23.90	15.70	12.50	11.20	70.90	7.90	25.29
90-91	10.30	10.40	10.60	15.10	27.30	34.70	42.60	35.50	27.10	15.90	12.50	12.50	58.27	9.06	21.14
91-92	11.50	11.40	16.00	21.90	45.30	51.40	68.10	57.70	43.90	22.20	16.40	14.10	86.61	10.56	31.60
92-93	12.20	12.90	15.00	23.70	45.70	56.70	71.50	56.10	36.60	22.60	19.70	16.20	93.15	11.35	32.30
93-94	15.00	14.80	16.50	23.02	33.75	54.75	70.77	43.36	35.09	20.98	18.34	15.56	83.33	11.30	30.14
94-95	11.88	12.49	15.72	21.47	45.92	78.61	64.11	43.60	29.59	20.74	18.12	16.09	110.50	10.33	31.50
95-96	14.78	14.10	16.34	17.84	38.53	62.43	48.53	36.77	30.87	16.92	13.96	11.34	82.98	10.45	26.88
96-97	10.53	10.73	10.49	10.82	14.36	20.23	32.14	27.18	23.08	15.11	11.02	10.07	41.12	9.31	16.27
97-98	10.27	10.76	12.30	13.92	28.42	57.27	79.56	46.55	28.25	21.17	16.02	13.79	94.42	9.50	28.14
98-99	12.58	11.91	11.44	13.78	21.25	36.70	37.06	37.86	23.96	14.61	10.65	9.00	58.24	8.58	19.99
99-00	8.68	8.53	9.94	15.90	30.64	38.52	45.89	35.28	23.36	16.88	12.50	10.86	59.14	6.78	21.39
00-01	10.76	11.07	11.86	29.80	42.59	75.14	69.04	60.53	37.22	20.56	15.59	13.25	102.30	9.52	33.01
01-02	11.38	12.41	13.40	28.09	43.75	112.20	84.20	61.89	37.07	21.55	16.42	15.23	209.40	7.06	38.10
02-03	13.72	14.05	14.98	24.29	51.55	84.85	95.12	69.84	47.67	29.55	19.64	17.00	115.10	12.13	40.08
03-04	14.00	13.52	14.83	24.40	36.60	41.24	51.11	44.25	31.36	18.10	13.21	11.86	58.14	10.34	26.17
04-05	10.90	10.02	11.24	13.28	15.44	30.28	47.15	39.18	24.65	13.88	11.31	11.03	60.82	7.95	19.86
05-06	10.81	11.64	14.88	25.24	70.35	106.89	123.41	98.10	48.96	30.03	20.76	16.49	141.00	10.42	48.13
06-07	15.80	14.87	16.91	28.65	54.32	80.90	94.91	50.29	35.18	21.67	15.62	13.11	124.57	11.16	36.85
Valores															
Promedio	11.86	11.89	13.50	19.99	36.66	59.31	65.24	49.28	32.67	19.84	15.04	12.86	94.80	8.45	28.96
Máximo	18.40	16.00	19.10	30.60	70.40	115.00	164.00	114.00	71.70	38.40	27.70	22.20	211.00	12.40	54.16
Mínimo	7.30	8.40	9.20	9.50	14.36	20.23	29.50	24.90	19.90	12.20	9.90	8.40	41.12	1.00	15.50

DURACIÓN DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES - PERÍODO 54-55/2006-2007 - 53 AÑOS

	Máximo	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	Mínimo
Caudales (m3/s):	164.00	76.8	57.8	43.75	38.55	33.4	24.5	19.9	15.9	14.03	13.2	12.3	10.84	9.8	7.30
% del módulo	566.4	265.2	199.6	151.1	133.1	115.3	84.6	68.7	54.9	48.5	45.6	42.5	37.4	33.8	25.2

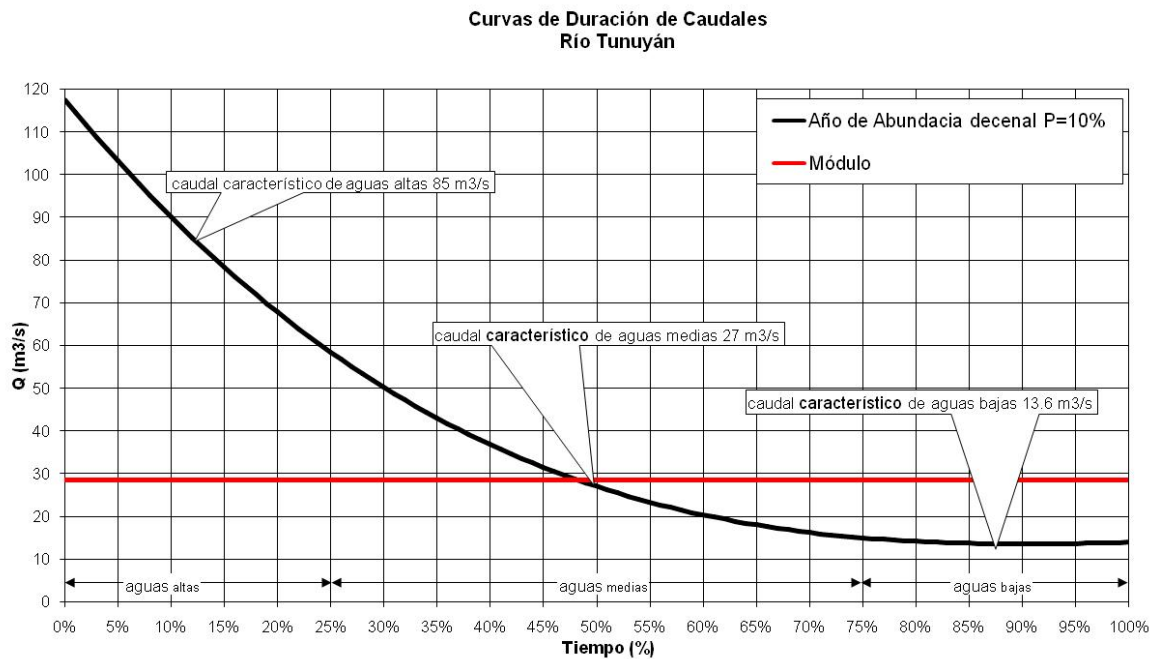


### 2.2.1. Curva de duración de caudales

La curva de duración o de permanencia de caudales es la representación gráfica en orden decreciente de los caudales observados, duración normalmente expresada en porcentaje. Como cada dato de caudal corresponde a un intervalo de tiempo hay una correspondencia entre aquel porcentaje y el período total de datos (Monsalve Saénz, G., 1999).

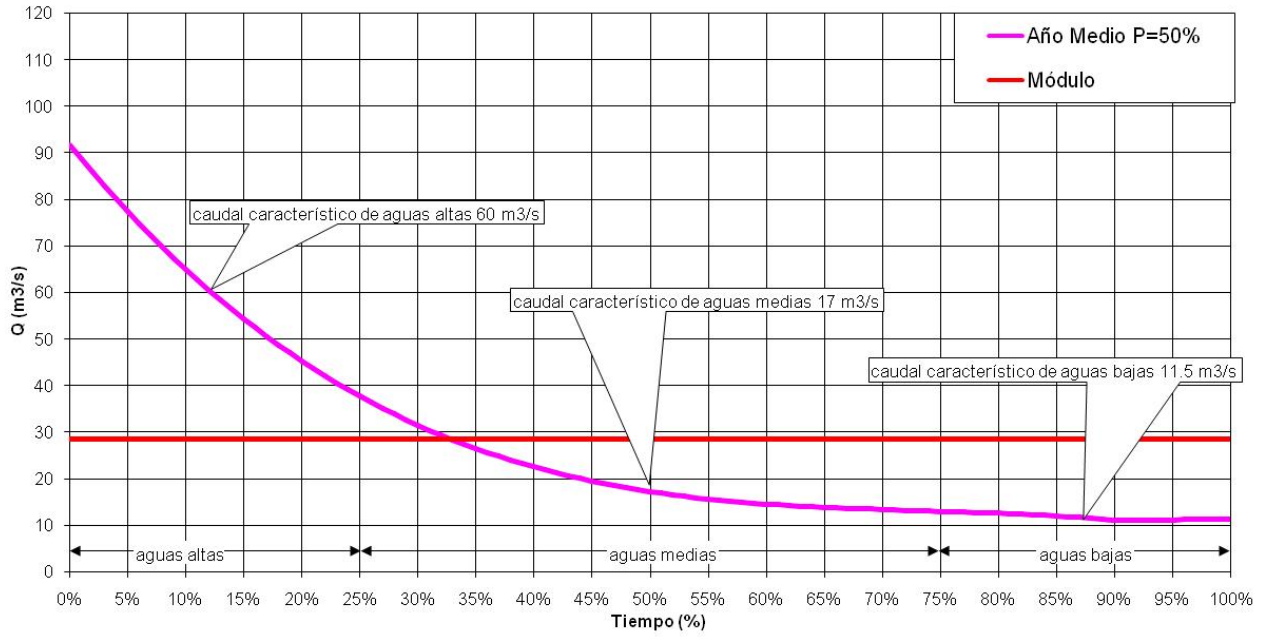
Para cada caudal derivado y para cualquier tipo de aprovechamiento con caudal mayor que el mínimo existe un período de tiempo en el que los caudales naturales son mayores que el caudal derivado y un período en el que son menores.

En las figuras 2.2.1.1, 2.2.1.2 y 2.2.1.3 se presentan las curvas de duración de caudales correspondientes a probabilidad de ocurrencia de 10% (año de abundancia decenal), a probabilidad de ocurrencia de 50% (año medio) y a probabilidad de ocurrencia de 90% (año de sequía decenal) respectivamente.



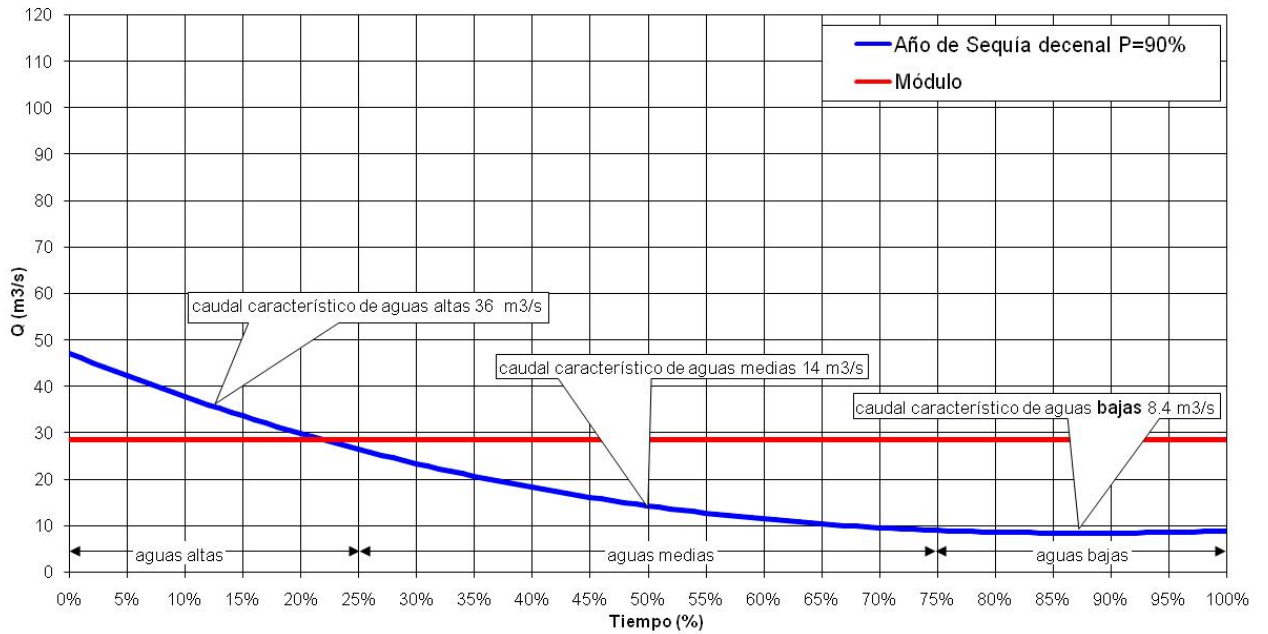
**Figura 2.2.1.1. Curva de duración de caudales para el año de abundancia decenal**

**Curvas de Duración de Caudales  
Río Tunuyán**



**Figura 2.2.1.2. Curva de duración de caudales para el año medio**

**Curvas de Duración de Caudales  
Río Tunuyán**



**Figura 2.2.1.3. Curva de duración de caudales para el año de sequía decenal**

### 3. CRECIDA DE DISEÑO

Según se expresa en (ICOLD, 1992) el término “crecida de diseño” se refiere generalmente al hidrograma estimado en el sitio de la presa y que es tenida en cuenta para el dimensionamiento de las obras de descarga de la misma.

La crecida de diseño resulta generalmente, en un marco determinístico, de una consideración ingenieril basada sobre las observaciones de escurrimientos y precipitaciones, o de la aplicación de principios hidrológicos a los fenómenos físicos observados que mejor se adaptan a la situación en particular considerada. Cuando la metodología a utilizar es la de análisis de frecuencia, la estimación de parámetros de las distribuciones de probabilidad adoptadas para describir el proceso hidrológico será tanto mejor cuanto más largo sea el récord de datos hidrológicos observados.

Hay una gran variedad de métodos hidrológicos que conducen a resultados diferentes para la estimación de crecidas de igual probabilidad aparente. La elección del método debe responder a las características climáticas y regionales y a la disponibilidad de la información.

El riesgo aceptable de la falla de una presa y de sus consecuencias humanas y económicas debe traducirse en una crecida de diseño de una probabilidad determinada.

En este estudio se ha adoptado el criterio de que la crecida de diseño es la correspondiente a la descrita en normas pertinentes cuando la fusión nival es el efecto “dominante”. Al respecto en Alberta Transportation (2004) se expresa que *“la Crecida Máxima Probable (CMP) con fusión nival como efecto dominante es especificada como una acumulación nívea maximizada seguida por una secuencia extrema de temperatura y una lluvia de recurrencia 100 años. La acumulación nívea maximizada es la correspondiente a recurrencia 100 años multiplicada por un factor. La secuencia extrema de temperatura es la correspondiente a recurrencia 100 años. Es difícil estimar el posible rango de tiempo de retorno de la combinación resultante.”*

También se aconseja que:

- para obtener la acumulación nívea maximizada, el valor correspondiente a recurrencia 100 años debería ser multiplicado por un factor cercano a 2.
- en cuencas con rangos significativos de elevación, ésta deberá estar completamente cubierta de nieve sobre una elevación razonable correspondiente a la época del comienzo de la secuencia extrema de temperatura.
- para la secuencia extrema de temperatura se debe adoptar la recurrencia 100 años a la temperatura acumulada a la duración adoptada y luego desarrollar la secuencia de temperaturas diarias para ajustar el valor acumulado

Por otra parte el U.S. Bureau of Reclamation identifica para una CMP, entre otras situaciones críticas, a una crecida máxima por fusión nival en combinación con una importante precipitación pluvial menos severa que la Precipitación Máxima Probable (PMP)

En (Committee on Safety Criteria for Dams, 1985) se explicita que sería razonable asumir que en regiones montañosas, las principales crecidas en pequeñas cuencas, podrían producirse por importantes tormentas convectivas, no de la magnitud de la PMP, que ocurren durante la temporada de crecidas generadas por fusión nival. Generalmente, puede considerarse meteorológicamente improbable, que para la máxima crecida por fusión nival ocurra, en forma simultánea, un evento de precipitación extrema. En cada situación es deseable evaluar la razonabilidad meteorológica del criterio a aplicar antes que utilizar reglas arbitrarias.

Por su similitud es interesante comparar (Tabla 3.1) el procedimiento descrito en (Alberta Transportation, 2004) para determinar una Fusión Nival Máxima Probable (FNMP) con el establecido por (WMO, 1986) para estimar la Precipitación Máxima Probable (PMP).

**Tabla3.1. Comparación entre PMP y FNMP**

PMP	FNMP
$Td_{100} \rightarrow w_{100}$	Secuencia Crítica Temperatura con TR=100 años
$r = w_{100}/w_h$	$r \sim 2$
$PMP = P_h \cdot r$	EAN Máx Prob = $EAN_{100} \cdot r$

donde:

$Td_{100}$ : temperatura de rocío persistente 12 hrs con TR= 100 años

$w_{100}$ : cantidad de agua precipitable correspondiente a  $Td_{100}$

$w_h$ : cantidad de agua precipitable correspondiente a la precipitación histórica

r: factor de maximización

$P_h$ : precipitación histórica

EAN: equivalente agua de nieve

### 3.1. COMPONENTE DE FUSIÓN NIVAL

Cualquier estudio destinado al aprovechamiento o control del recurso hídrico en la zona andina central de Argentina (provincias de San Juan y Mendoza) no puede prescindir de considerar la contribución por fusión nival al escurrimiento superficial directo (70% en el año medio).

El caudal base invernal está generado por el agua infiltrada y que aparece en las laderas de los cauces como aporte subsuperficial, simultáneamente se produce la acumulación nívea durante los meses de mayo a setiembre generalmente. El proceso de fusión nival comienza en la primavera (en la segunda quincena de setiembre o primeros días de octubre) y su finalización depende de la cobertura y espesor del manto nival, llegando en casos extremos a fines de marzo. Luego el hidrograma anual de escurrimiento está comprendido entre julio y junio del año siguiente produciéndose los caudales máximos a fines de diciembre o primeros días de enero.

#### 3.1.1. Modelo SRM

El modelo SRM (Snowmelt Runoff Model; en alguna bibliografía también llamado Modelo de Martinec y Rango) (Martinec, J. et al, 2005) es un modelo de escorrentía por fusión nival. Está diseñado para simular y predecir el caudal diario en cuencas de montaña, donde la fusión

de nieve tiene un papel importante. Recientemente también ha sido utilizado para evaluar el efecto del cambio climático sobre la cobertura de nieve y su escorrentía.

El modelo SRM fue aplicado inicialmente a pequeñas cuencas en Europa. Gracias a los avances en teledetección de nieve mediante satélites, el modelo SRM se ha ido aplicando a cuencas cada vez mayores, siendo la mayor donde se ha aplicado de 120.000 km<sup>2</sup>. Hasta la fecha el modelo fue implementado por varias agencias, institutos y universidades en unas 80 cuencas de 25 países distintos (Figura 3.1.1.1), en áreas desde 0,77 a 120.000 km<sup>2</sup> y en elevación desde 171 a 7000 m s.n.m. Alrededor de un 25% de las aplicaciones fueron hechas por los autores del modelo y un 75% por usuarios independientes, entre éstos el INA quien lo ha aplicado en la cuenca del Río Tupungato (Maza, J. et al, 2001) para varios eventos (punto I en Figura 3.1.1.1). El modelo SRM también superó varios ensayos de simulación de escorrentía realizados por World Meteorological Organization así como simulaciones parciales de predicciones en tiempo real.



Figura 3.1.1.1. Aplicaciones del Modelo SRM. Extraído de (Martinec, J. et al, 2005)

El modelo calcula la cantidad diaria de agua procedente de la fusión nival y de la lluvia. Esta cantidad se añade al caudal de recesión para obtener el caudal total diario según el siguiente algoritmo:

$$Q_d = \sum_{z=1}^{nzone} \left\{ cS_{nz} [MF_{nz} [(DD_n + \Delta T_{nz}) SCA_{nz} + cR_{nz} \cdot P_{nz}] \frac{0.01 \cdot A_z}{86400}] (1 - K_n) + Q_{n-1} K_n \right\} \quad (1)$$

donde:

- Q** = caudal medio diario en m<sup>3</sup>/s
- cS** = coeficiente de escurrimiento para fusión nival
- cR** = coeficiente de escurrimiento para precipitación pluvial
- MF** = factor grado-día en cm/°C día
- DD** = número de grados-día en °C día
- ΔT** = diferencia de temperatura debido a la diferencia en altitud entre la estación de medición y la altura media hipsométrica de la zona z.
- SCA** = proporción de área cubierta de nieve sobre el área total de la zona z
- P** = precipitación que contribuye al escurrimiento en cm
- A** = área de la zona en m<sup>2</sup>
- K** = coeficiente de recesión calculado como  $Q_{n+1} / Q_n$  durante un período de recesión
- n** = secuencia de días durante el período de cálculo. En la ecuación planteada los grados-día del día n corresponden a la descarga del día n+1. El modelo admite coeficientes de corrección cuando el retardo de la cuenca (Lt) es distinto a éste.
- z** = suscripto que indica las zonas en la que está subdividida la cuenca (admite hasta 16 zonas).

Las variables *T*(temperatura), *SCA* y *P* han de ser medidas o determinadas a diario. Los parámetros *cR*, *cS*, el gradiente de temperatura (*Lr*) para hallar  $\Delta T$ , *TCRIT* (temperatura a la cual comienza la fusión), *K* y el *tiempo de retardo* (*Lt*) son todos ellos característicos de una cuenca particular o, más en general, de un clima particular.

Si el rango de alturas de la cuenca es mayor de 500 m, es recomendable subdividir la cuenca en zonas de elevación de unos 500 m cada una.

### 3.1.2. Calibración del modelo SRM

La calibración del modelo SRM en la cuenca del Río Tunuyán se llevó a cabo con la información hidrometeorológica del año hidrológico 2002-2003.

La selección del año fue inducida por la disponibilidad de imágenes satelitales seriadas temporalmente, necesarias para determinar la variación espacial y temporal de la cobertura nival (*SCA*). Las imágenes satelitales seriadas al igual que la información de equivalente agua de nieve (*EAN*) y temperaturas en las estaciones Palomares y Salinillas fueron suministradas por el Departamento General de Irrigación de Mendoza (*DGI*). La información de caudales medios diarios y temperaturas diarias en la Estación de Valle de Uco fueron provistos por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (*SSRH*).

#### 3.1.2.1. Morfometría de la cuenca

Con el objeto de obtener la información cualicuantitativa necesaria para el análisis de la respuesta hidrológica de las cuencas intervinientes se confeccionó un Modelo Digital de

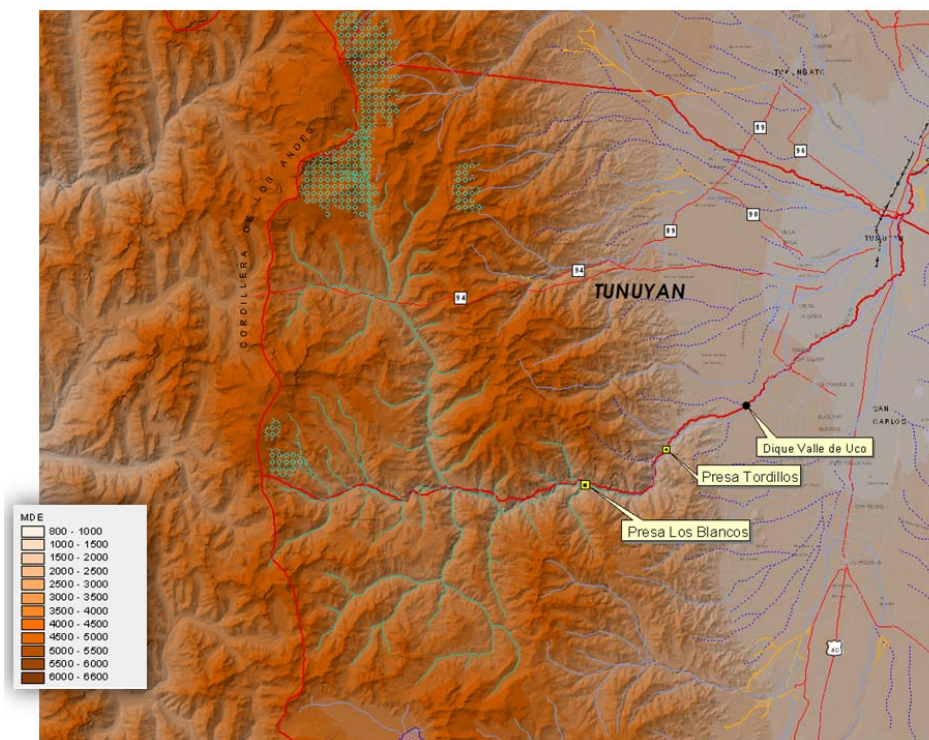
Elevaciones del cual se extrajeron los parámetros morfométricos y se determinaron las bandas de altitud.

En la cartografía convencional la descripción de las elevaciones a través del mapa topográfico constituye la infraestructura básica del resto de los mapas. El modelo digital de elevaciones (MDE), describe la altimetría de una zona mediante un conjunto de cotas. Es posible construir un conjunto de modelos derivados, elaborados a partir de la información contenida explícita o implícitamente en el MDE. Los modelos derivados más sencillos reflejan características morfológicas simples (pendiente, orientación, etc.). Incorporando información auxiliar es posible elaborar otros modelos más complejos, utilizando conjuntamente la descripción morfológica del terreno y simulaciones numéricas de procesos físicos. (Felicísimo, 2001)

La captura de la información hipsométrica constituye el paso inicial en el proceso de construcción del MDE. Se trata de una fase de gran trascendencia porque la calidad de los datos es el principal factor limitante para los tratamientos que se realicen posteriormente.

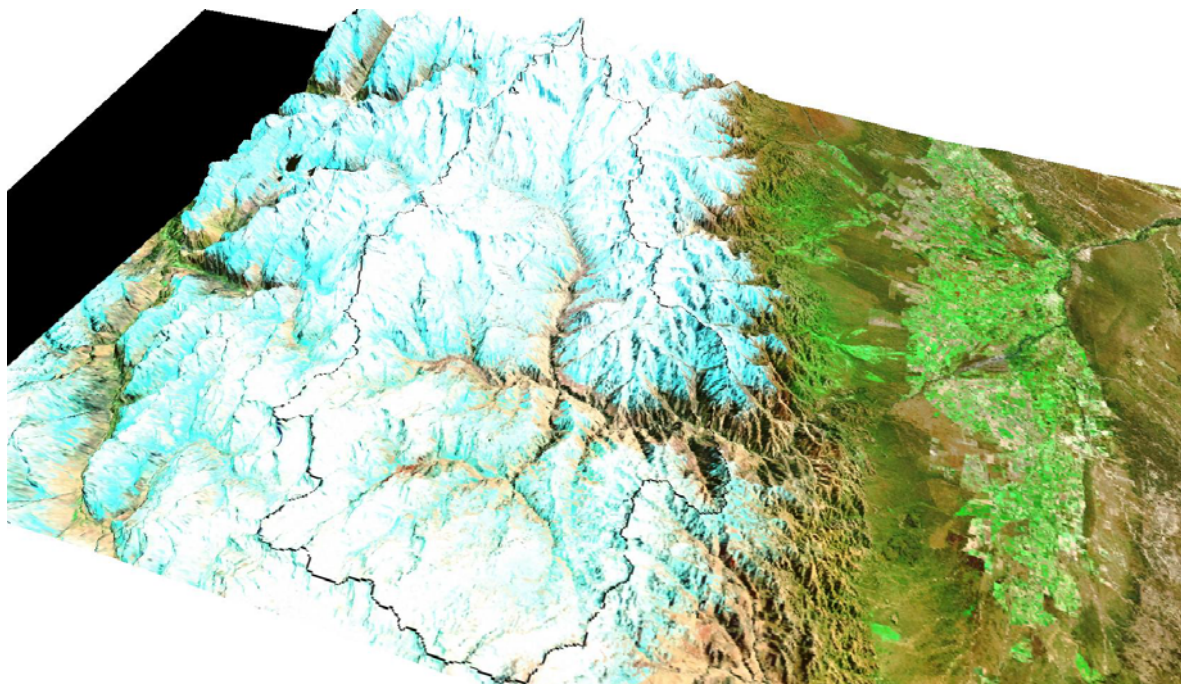
El MDE se elaboró a partir de los datos de la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) que la NASA lanzó en febrero del 2000. El objetivo de la misión SRTM fue la de generar un modelo global de elevaciones por medio de interferometría radar, con una resolución de 90 m por píxel. Pero al tratarse de modelos globales, se utiliza una proyección geográfica (Lat/Long) con el datum WGS-84. Por esta razón el modelo no se puede superponer directamente a la cartografía local. Para ello fue necesario realizar una conversión de coordenadas para pasar al datum Posgar'94 con proyección Gauss Krugger.

Una vez obtenido el MDE (Figura 3.1.2.1.1) ya proyectado se integró al SIG junto con las otras capas temáticas (Figuras 3.1.2.1.2 y 3.1.2.1.3)

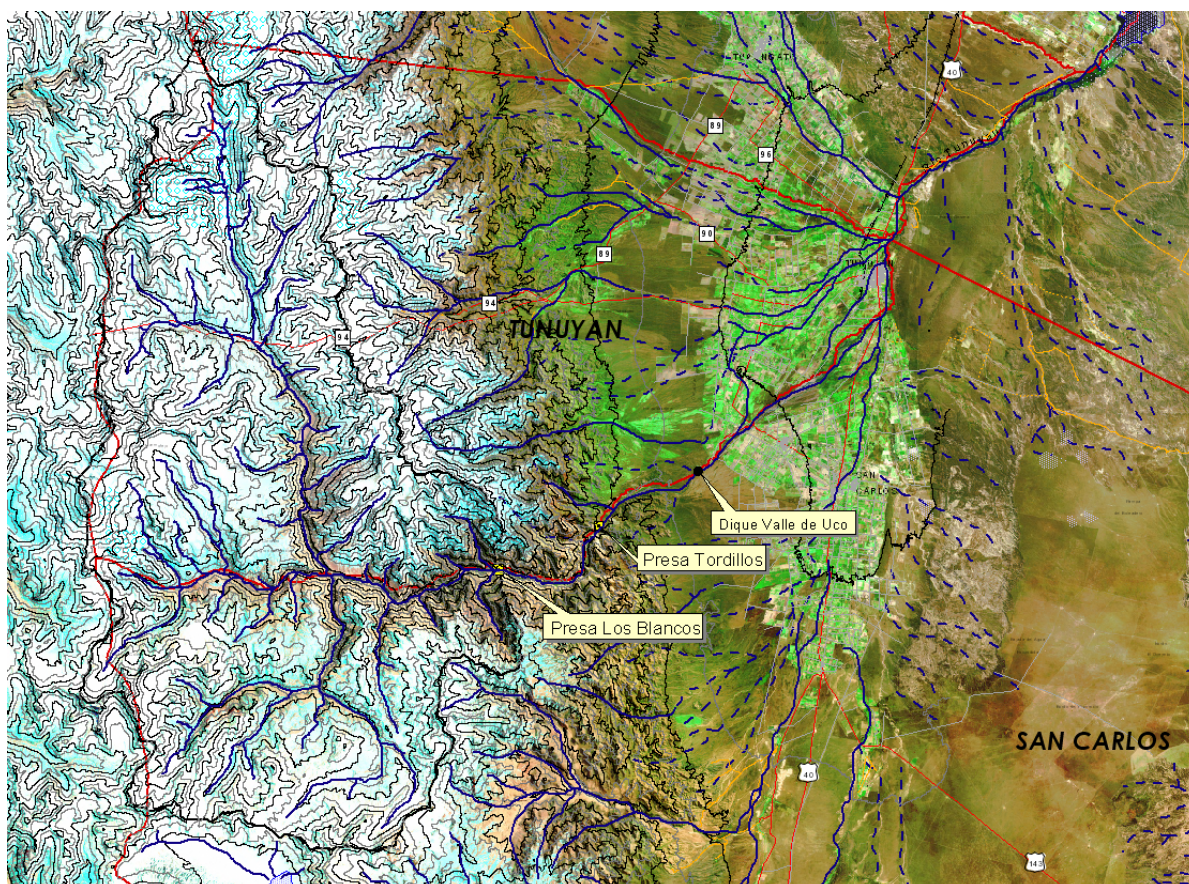


**Figura 3.1.2.1.1. Modelo Digital de Elevaciones**





**Figura 3.1.2.1.2. Vista 3D del Modelo Digital de Elevaciones con imagen satelital**



**Figura 3.1.2.1.3. Curvas de nivel cada 250 m e imagen satelital Landast**

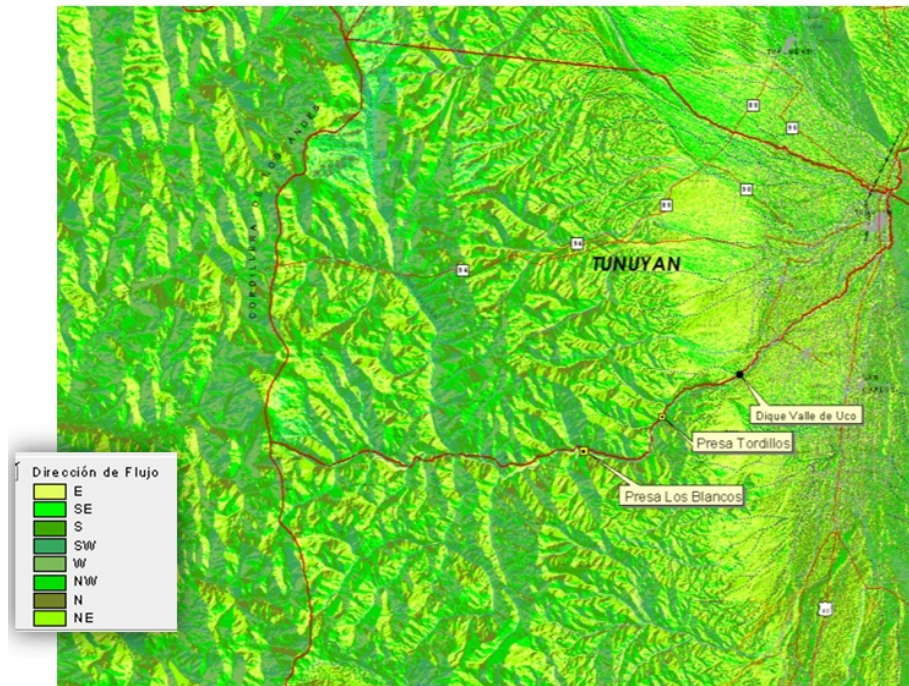


La representación de la variabilidad espacial del medio físico en modelos hidrológicos se basa en el uso de herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG), facilitando la generación de modelos y simulación de escenarios. Los SIG son instrumentos desarrollados para el manejo y análisis de datos e información referenciada espacialmente.

El análisis morfométrico se llevó a cabo con la interfase geoespacial HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling System Extension) abarcando tres grandes temáticas:

- descripción geoespacial de los elementos hidrográficos (forma, locación, atributos, ID),
- conectividad de los elementos hidrológicos al paisaje (redes de drenaje, cobertura y ocupación del suelo)
- modelación hidrológica.

Procesando el modelo de elevaciones se obtuvo el mapa general de direcciones de flujo asignando a cada codificación de orientación un color (en este caso de verdes en degradé) como se muestra en la Figura 3.1.2.1.4.

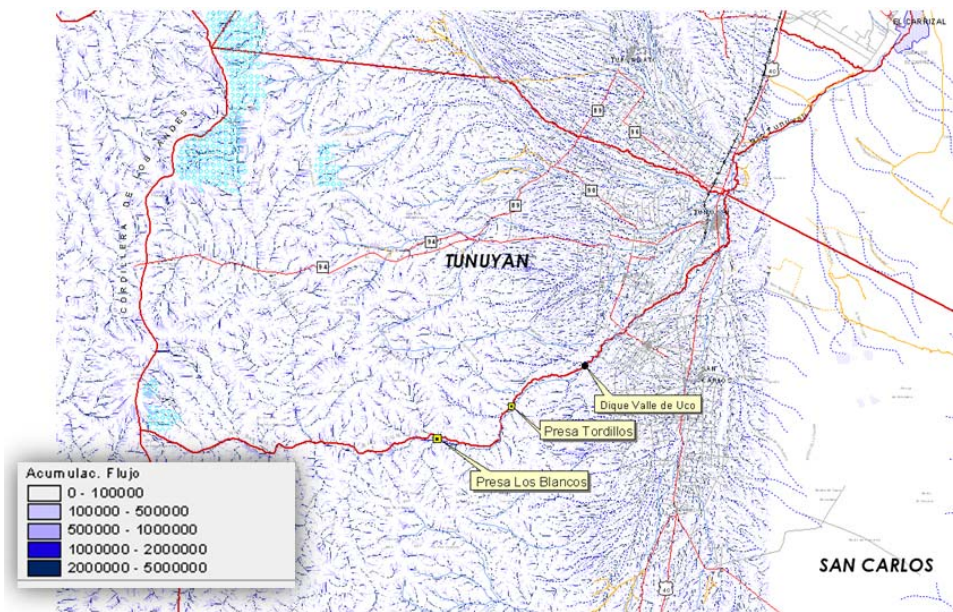


**Figura 3.1.2.1.4. Mapa de Dirección de flujo**

Siguiendo la metodología, se generó el mapa de acumulación de aporte, que representa en un punto determinado, la cantidad de píxeles que drenan a él, y por medio de este se identifica la red de drenaje.

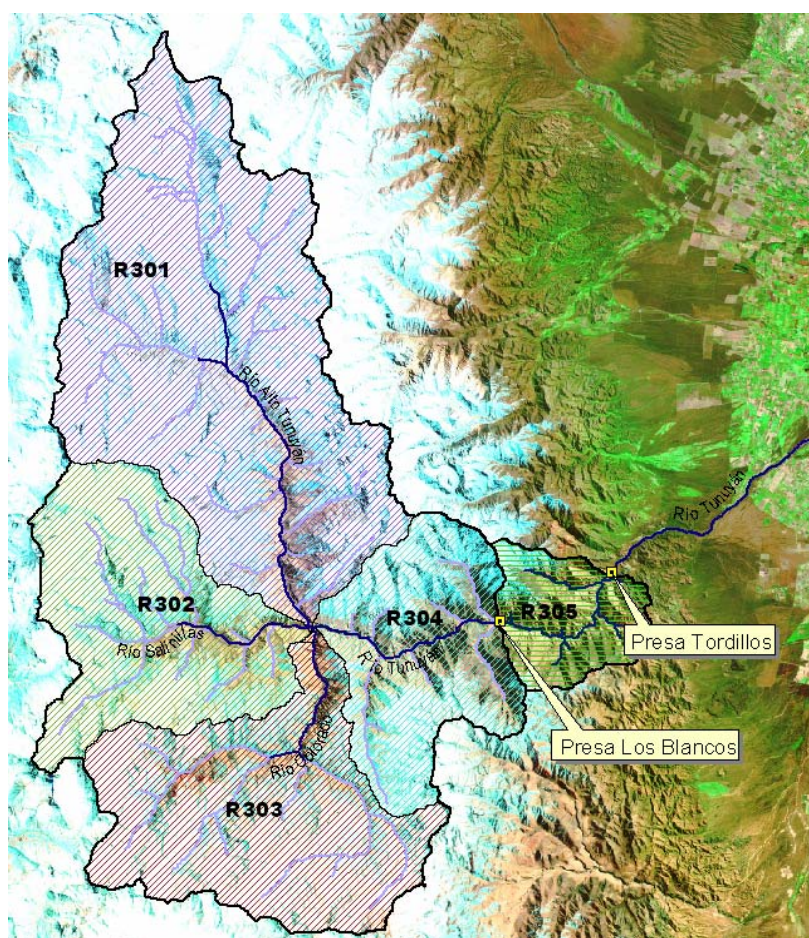
La hidrografía se determina al establecer un umbral mínimo de acumulación de aporte hídrico para que sea considerado cauce torrencial, río o sólo ladera. En la Figura 3.1.2.1.5 se observa el mapa de acumulación de flujo y la red hidrográfica generada.





**Figura 3.1.2.1.5. Mapa de Acumulación de drenaje**

La delimitación de las cuencas se obtuvo tomando en consideración el cierre en la Presa Los Blancos, dando lugar a 4 subcuencas internas y un área total de 2258.37 km<sup>2</sup>. La segunda cuenca se cerró en la Presa Tordillos, generando un área entre embalses de 142.17km<sup>2</sup> (Figura 3.1.2.1.6)



**Figura 3.1.2.1.6. Mapa de cuencas**

Los parámetros morfométricos así determinados figuran en la Tabla 3.1.2.1.1.

**Tabla 3.1.2.1.1. Parámetros morfométricos**

Cuenca	Descripción	Area [Km <sup>2</sup> ]	Perim. [Km]	Elev. Media (m snm)	Cota máx (m snm)	Cota mín. (m snm)	DH [m]	Long flujo máx [Km]	Pend. [m/m]
R301	Cuenca Río Alto Tunuyán	973.30	212.13	2915.4	6538	2210	4328	65.88	0.066
R302	Cuenca Río Salinillas	437.65	136.53	2703.9	6083	2210	3873	39.02	0.099
R303	Cuenca Río Colorado	517.76	159.48	2971.5	4431	2195	2236	45.26	0.049
R304	Cuenca Río Tunuyán	329.66	113.31	2819.9	4661	1786	2875	33.58	0.086
	<b>Cuenca Los Blancos</b>	<b>2258.37</b>							
R305	Cuenca entre Presas Los Blancos y Los Tordillos	142.17	65.88	2370.8	4066	1352	2714	21.28	0.128

Se establecieron bandas de altitud con equidistancia a 500 m, para la determinación posterior de parámetros morfométricos, datos de entrada al modelo de fusión nival SRM.

Se utilizó el modelo digital de elevaciones reclasificado en 9 clases en función de los umbrales establecidos y se determinaron las áreas y porcentajes de cada banda (Tabla 3.1.2.1.2 y Figuras 3.1.2.1.7, 3.1.2.1.8).

**Tabla 3.1.2.1.2. Áreas de zonas**

Zona	Cota min [msnm]	Cota max [msnm]	Area zona	
			[km <sup>2</sup> ]	[%]
A	1700	2200	19.39	0.9%
B	2200	2700	97.51	4.3%
C	2700	3200	340.82	15.1%
D	3200	3700	672.1	29.8%
E	3700	4200	598.27	26.5%
F	4200	4700	312.15	13.8%
G	4700	5200	147.01	6.5%
H	5200	5700	60.35	2.7%
I	5700	6600	10.77	0.5%
<b>Total</b>			<b>2258.37</b>	

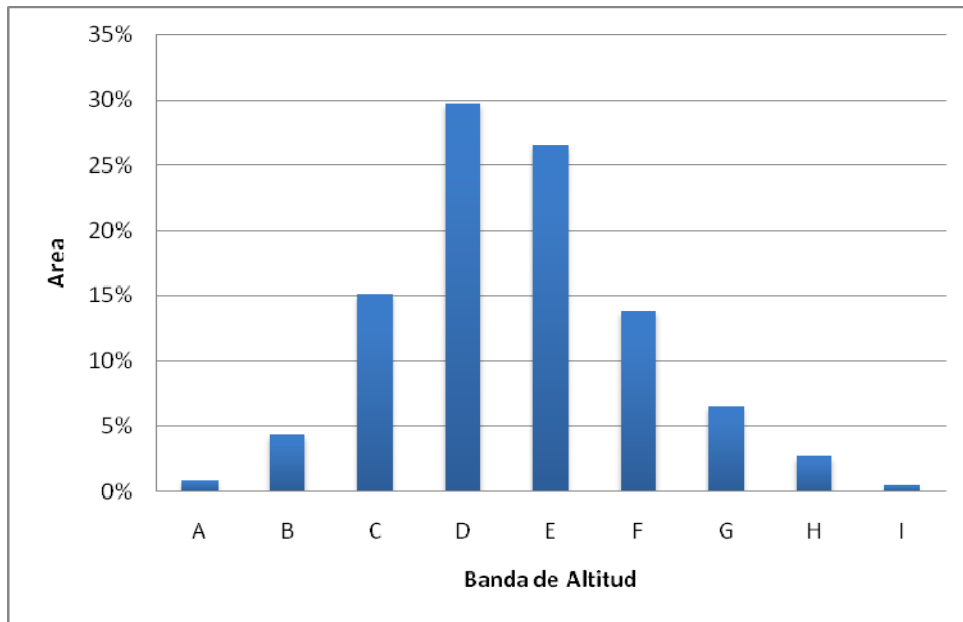


Figura 3.1.2.1.7. Áreas de zonas por bandas de altitud

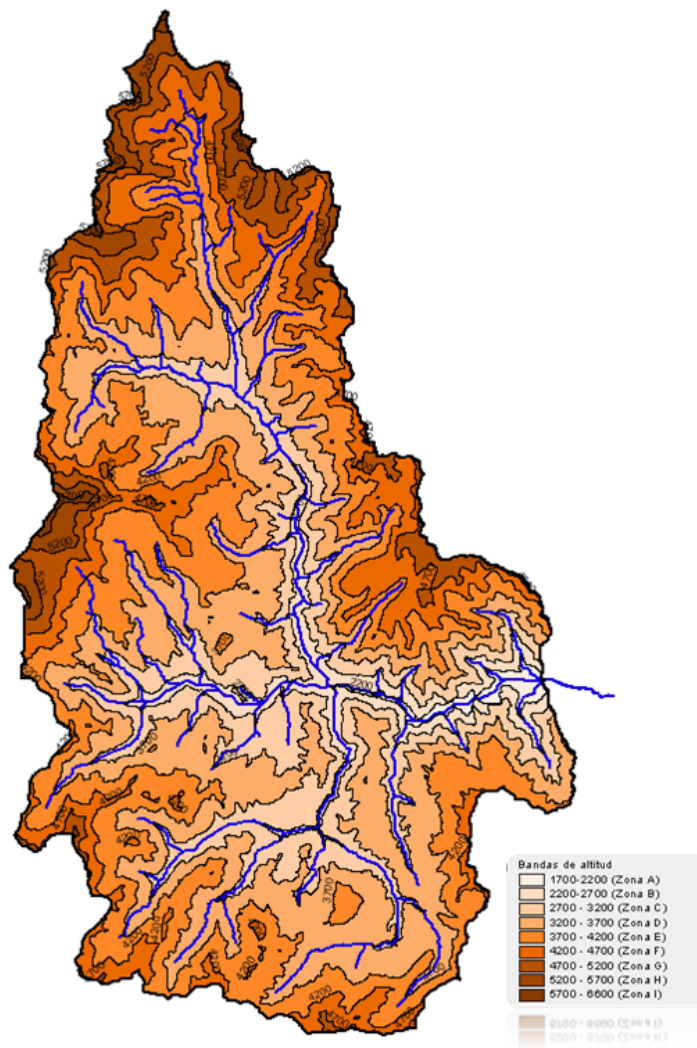
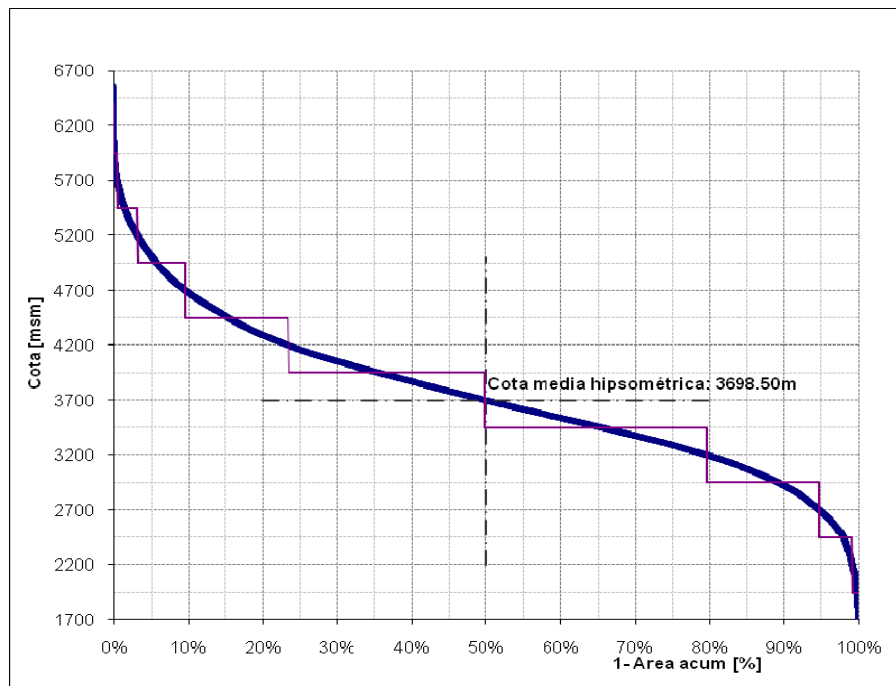


Figura 3.1.2.1.8. Zonas por bandas de altitud cada 500 m

La curva hipsométrica de la Cuenca del Río Tunuyán hasta el Embalse Los Blancos fue obtenida por medio de un análisis de frecuencias del modelo digital de elevaciones, obteniendo la cantidad de celdas por banda altitudinal. Con la tabla así generada, se calcularon las áreas acumuladas por encima de cada cota y se graficó la curva Área-cota (Figura 3.1.2.1.9). Luego se procesó para cada zona de bandas altitudinales de 500 m para obtener las cotas medias hipsométricas de cada una de ellas (Tabla 3.1.2.1.3).



**Figura 3.1.2.1.9. Curva hipsométrica Cuenca Los Blancos**

**Tabla 3.1.2.1.3. Cotas medias hipsométricas**

Zona	Cota min [m snm]	Cota max [m snm]	Cota media hipsométrica [m snm]
A	1700	2200	2117.3
B	2200	2700	2545.4
C	2700	3200	3011.6
D	3200	3700	3461.6
E	3700	4200	3930.1
F	4200	4700	4406.8
G	4700	5200	4898.5
H	5200	5700	5380.3
I	5700	6600	6098.1
<b>Cuenca</b>	1700	6600	3698.5

### ***3.1.2.2. Área cubierta de nieve***

Con los datos provenientes de satélites de nueva generación se realizó el mapeo del área nevada (Snow Cover Area, SCA) para su posterior utilización en el modelo de fusión nival.

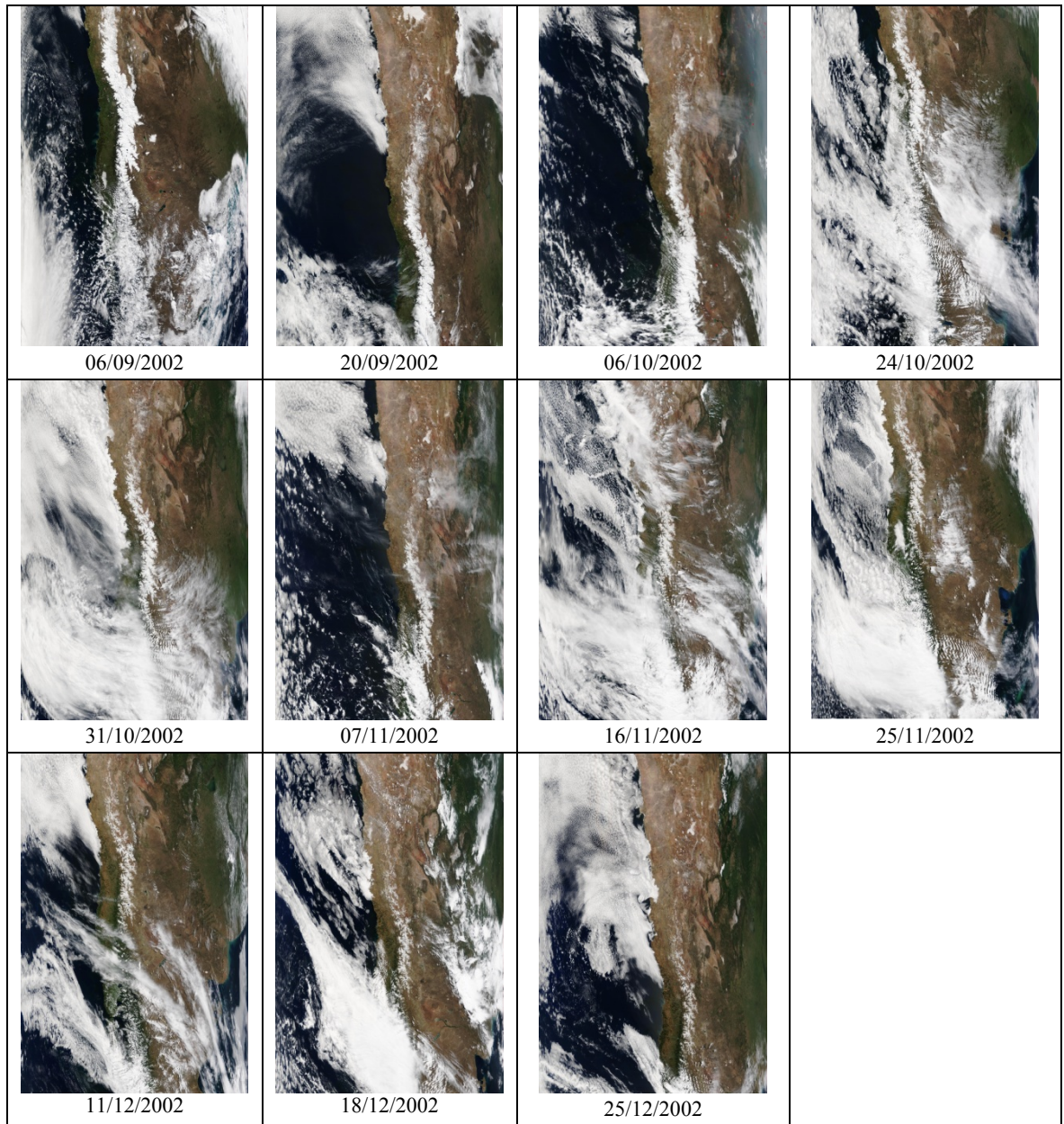
La plataforma MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) incluye dos satélites (MODIS-Terra y MODIS-Aqua) que proporcionan imágenes de la superficie entera del globo cada 1 a 2 días. Estas imágenes contienen información de alta sensibilidad radiométrica en 36 bandas espectrales y a tres diferentes resoluciones: 250 m, 500 m y 1000 m. El área de cobertura es de 10° lat. x 10° long. divididas en “tiles” o cuadros con una cobertura global.

Para el presente estudio las imágenes MODIS-Terra fueron provistas por el Departamento General de Irrigación (DGI), en formato tiff, con una resolución espacial de 250 m y una distribución temporal entre 7 y 18 días, desde agosto a diciembre de 2002.

De todas las fechas disponibles se seleccionaron aquellas, en que la nubosidad era escasa o nula y con un buen ángulo de vista, por lo que las fechas óptimas fueron las que se visualizan en la Figura 3.1.2.2.1.

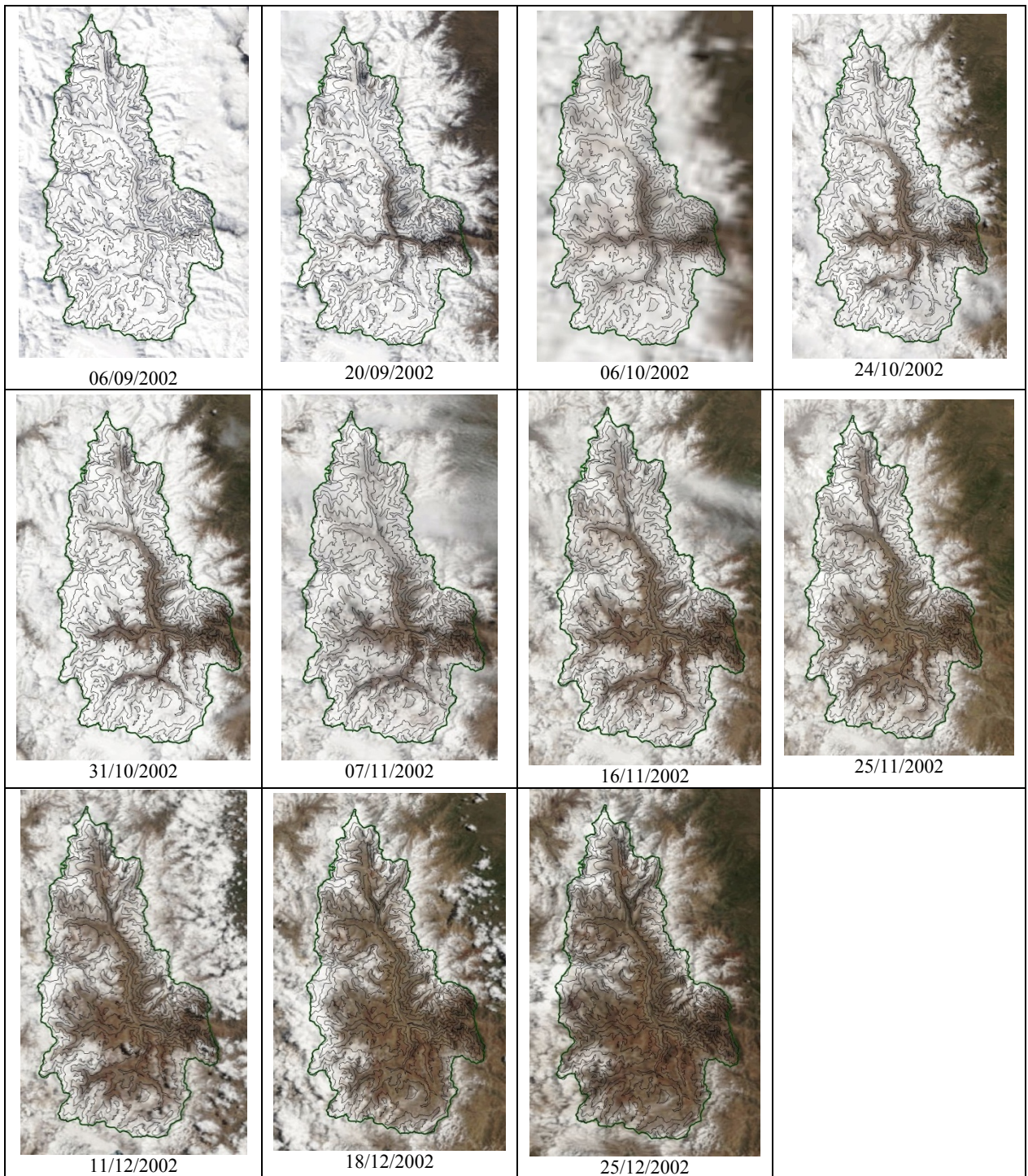
Se realizó en primera instancia la rectificación y georreferenciación de las imágenes seleccionadas. Se utilizó para ello un mosaico Landsat de 30 m de resolución espacial y cartografía en escala 1:100000 y 1:250000 provenientes del IGM en datum Posgar 94 con proyección Gauss Kruger. En la Figura 3.1.2.2.2 se observan las escenas seleccionadas con la cuenca de estudio y las curvas altitudinales.





**Figura 3.1.2.2.1. Imágenes MODIS para la determinación de SCA**





**Figura 3.1.2.2.2. Imágenes georeferenciadas y cuenca de estudio**

Una vez corregidas geométricamente todas las imágenes y recortada la cuenca de interés se realiza la clasificación de la información radiométrica, que varía de 0 a 255 niveles de gris. Se denomina clasificación a cualquier técnica donde los datos se agrupan en un número más pequeño de clases más generales. Luego, por medio de una clasificación no supervisada, se generaron las áreas cubiertas por nieve, mediante dos clases: sin nieve (amarillo) y con nieve (marrón) (Figura 3.1.2.2.3). Se validó la clasificación por medio de inspección visual entre mapas de cobertura e imágenes satelitales.



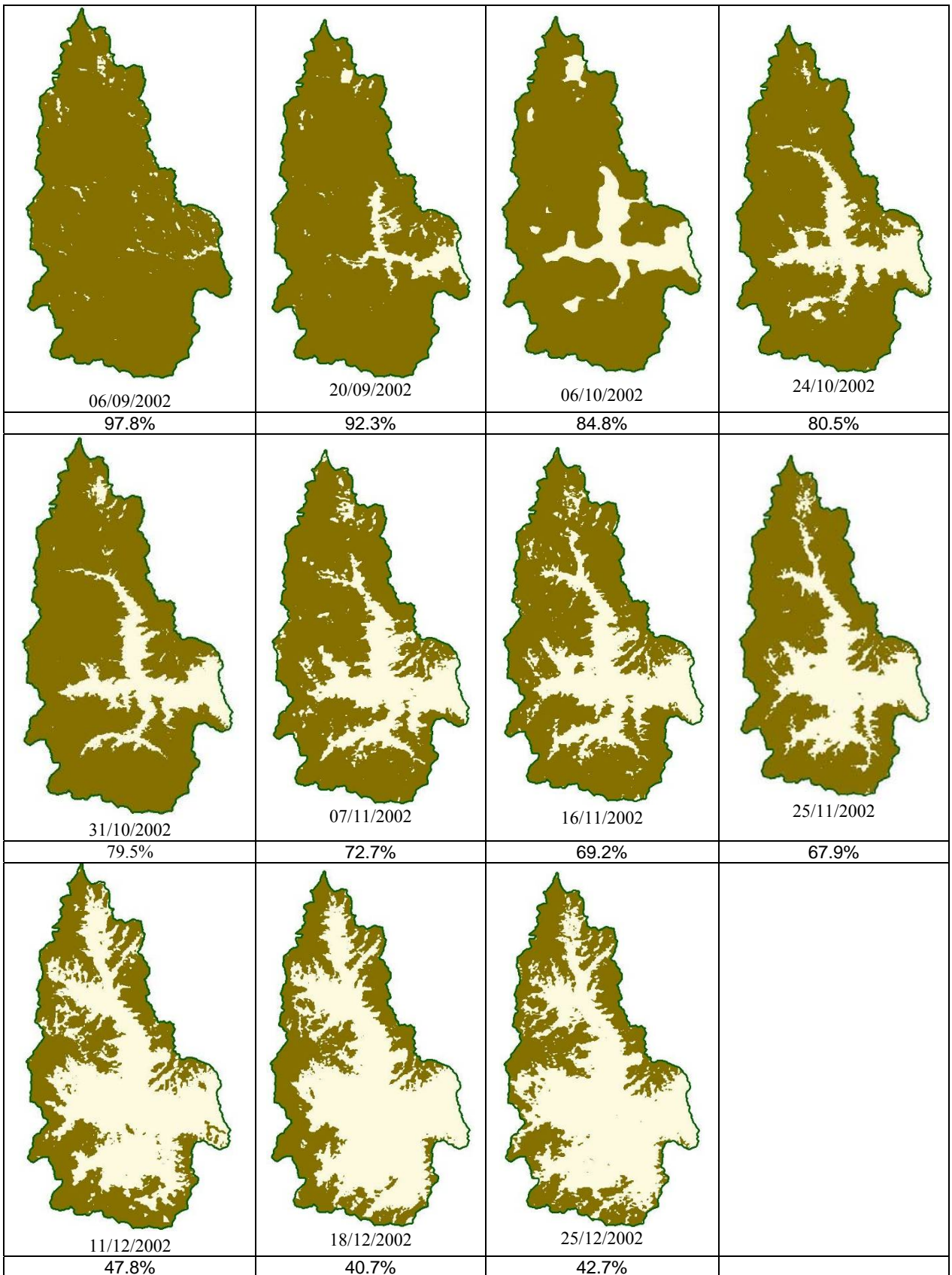


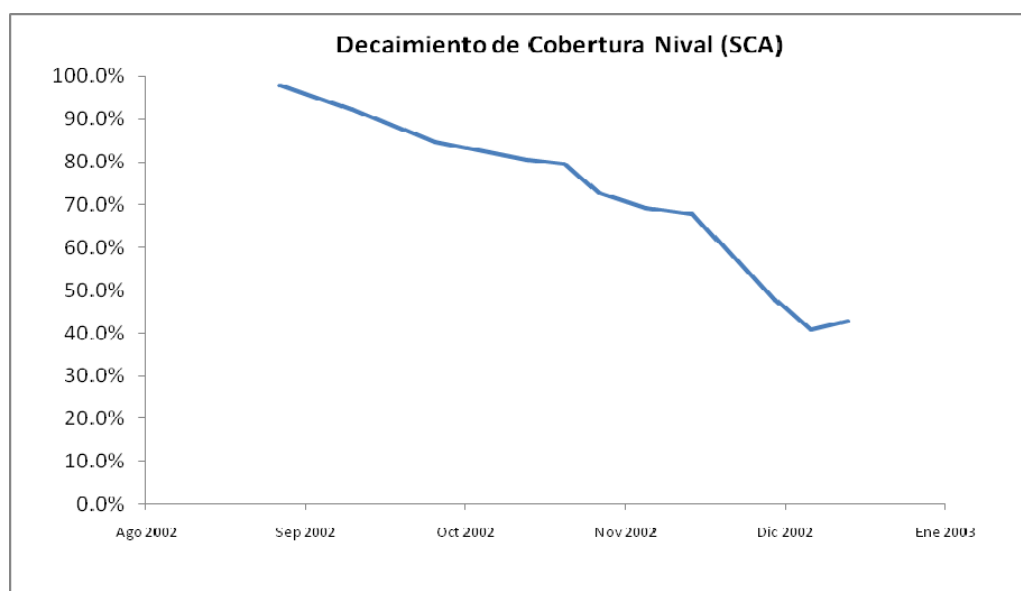
Figura 3.1.2.2.3. Mapas de Áreas cubierta por nieve (SCA)

Por medio de tabulaciones cruzadas y operaciones de álgebra de mapas, dentro del Sistema de Información Geográfico, se obtuvieron las áreas cubiertas de nieve para toda la cuenca (Tabla 3.1.2.2.1).

**Tabla 3.1.2.2.1. Tabulación cruzada entre cuenca y áreas cubiertas de nieve**

Fecha	Área sin nieve		Área con nieve	
	[km <sup>2</sup> ]	[%]	[km <sup>2</sup> ]	[%]
06/09/2002	50.03	2.2	2207.22	97.8
20/09/2002	174.66	7.7	2082.59	92.3
06/10/2002	344.15	15.2	1913.1	84.8
24/10/2002	439.66	19.5	1817.59	80.5
31/10/2002	414.35	18.4	1842.9	81.6
07/11/2002	617.09	27.3	1640.16	72.7
16/11/2002	694.87	30.8	1562.38	69.2
25/11/2002	725.22	32.1	1532.03	67.9
11/12/2002	1178.87	52.2	1078.38	47.8
18/12/2002	1337.82	59.3	919.43	40.7
25/12/2002	1294.14	57.3	963.11	42.7

En la Figura 3.1.2.2.4 se observa el decaimiento espacio-temporal de la cobertura nívea.



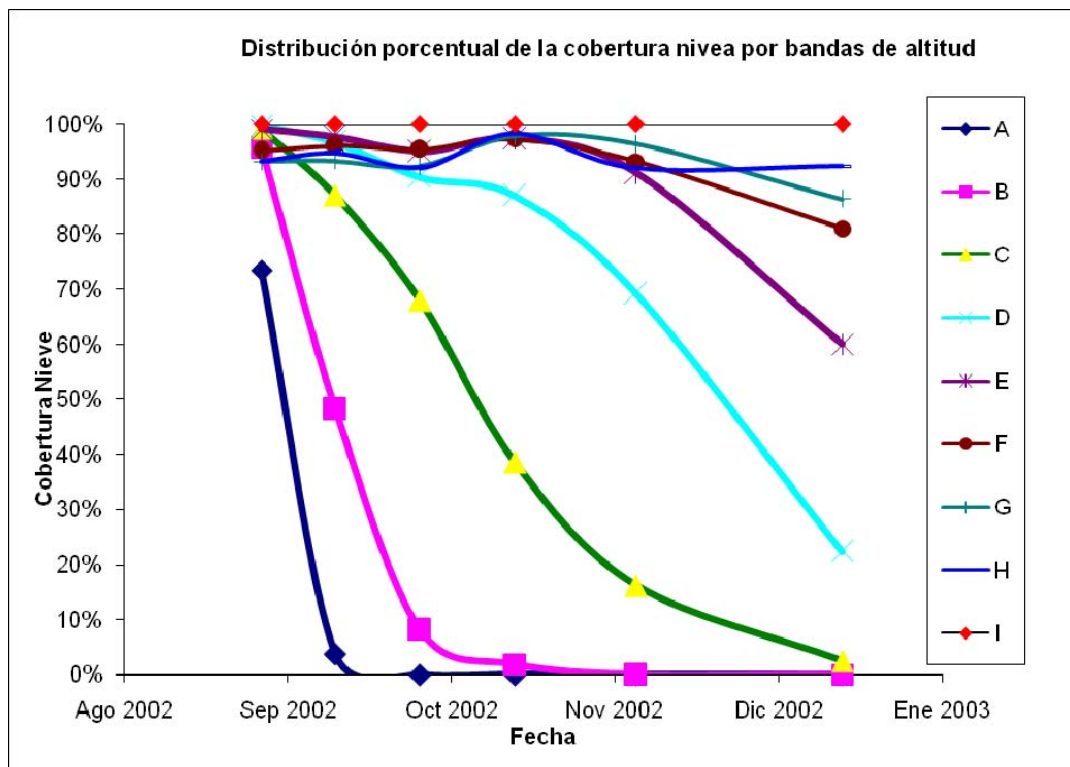
**Figura 3.1.2.2.4. Variación espacial y temporal del área cubierta de nieve**

Los mapas obtenidos de SCA en formato raster con 250 m de resolución espacial, fueron procesados en función de las 9 zonas por bandas de altitud.

Realizando tabulaciones cruzadas entre los mapas de SCA y el mapa de bandas de altitud se obtuvieron los resultados que se visualizan en la Tabla 3.1.2.2.2 y Figura 3.1.2.2.5

**Tabla 3.1.2.2.2. Tabla de porcentajes de cobertura nival para cada zona**

Zona	Rango de cotas	Fecha					
		06/9/02	20/9/02	6/10/02	24/10/02	16/11/02	25/12/02
A	1700-2200	74%	4%	0%	0%	0%	0%
B	2200-2700	96%	48%	8%	2%	0%	0%
C	2700-3200	99%	87%	68%	39%	16%	3%
D	3200-3700	100%	97%	90%	87%	69%	22%
E	3700-4200	99%	98%	95%	97%	91%	60%
F	4200-4700	95%	96%	95%	97%	93%	81%
G	4700-5200	93%	93%	92%	98%	96%	86%
H	5200-5700	93%	95%	92%	98%	92%	92%
I	5700-6600	100%	100%	100%	100%	100%	100%



**Figura 3.1.2.2.5. Variación espacial y temporal de la cobertura nival en cada zona**

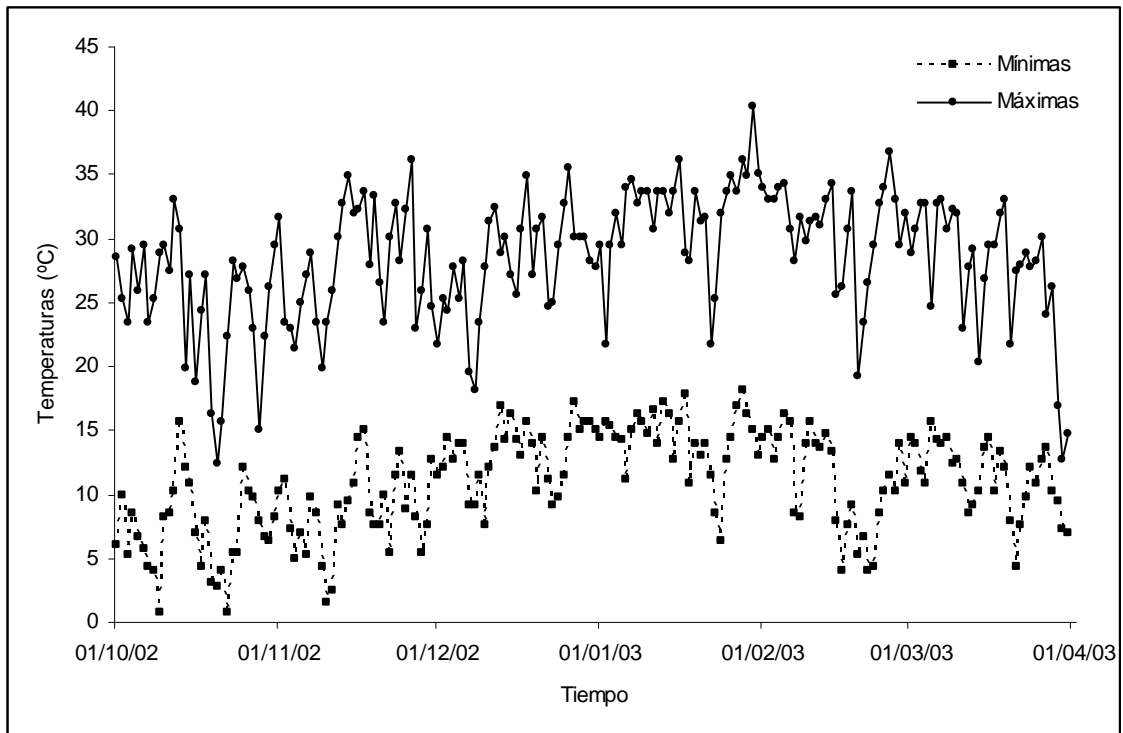
### 3.1.2.3. Información meteorológica

Para el año hidrológico 2002-2003, se cuenta con series diarias de todas las variables hidrometeorológicas necesarias para la calibración del modelo SRM.

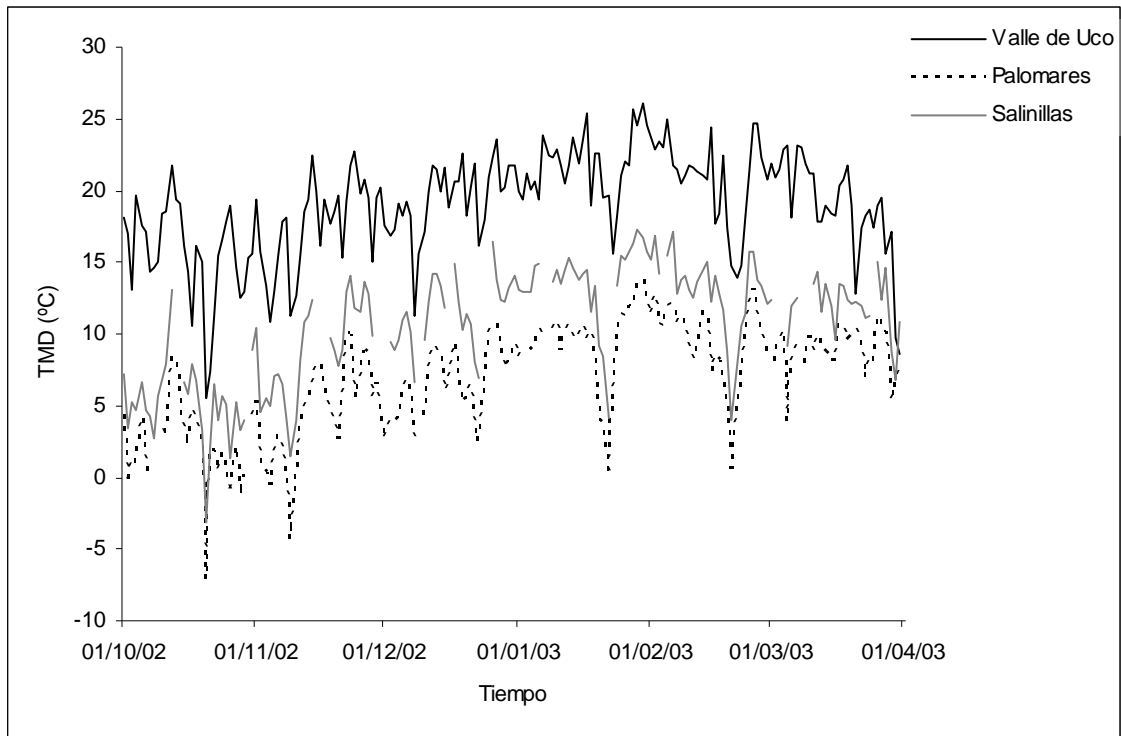
Las estaciones con información de temperaturas diarias (sección 2.1) se encuentran ubicadas entre los 940 y 2900 msnm y, como se menciona en la sección 3.1.2.1, la cota máxima de la cuenca es de 6538 m snm y la mínima 1786 m snm. Como el modelo SRM requiere de temperaturas medias en las distintas zonas consideradas, a fin de obtener las series de la variable grado día (DD), es necesario definir una estación base con información de temperaturas medias y relaciones que permitan representar la variación de esa variable con la altitud media hipsométrica de cada zona.

La estación Valle de Uco (1200 m) fue definida como estación base y la serie de temperaturas medias diarias fue calculada como promedio de las series de valores mínimos y máximos (Figura 3.1.2.3.1). En Figura 3.1.2.3.2 se grafican los valores de temperatura media diaria de la estación base y de las ubicadas en la cuenca.

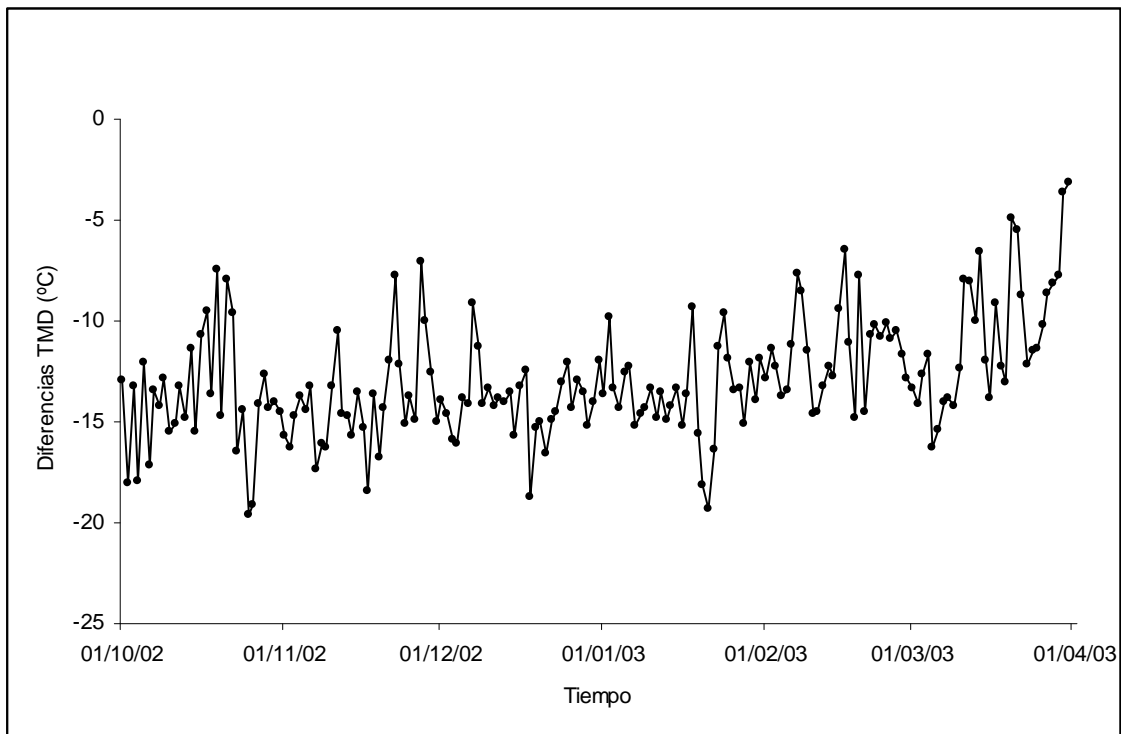
Se estudiaron diferentes metodologías para determinar la variación de temperatura con la altura y la alternativa más representativa resultó de la diferencia entre las observaciones en la estación base y Palomares, ubicada a 2900 m. Esta serie se grafica en la Figura 3.1.2.3.3.



**Figura 3.1.2.3.1 Series de temperaturas diarias en Valle de Uco**

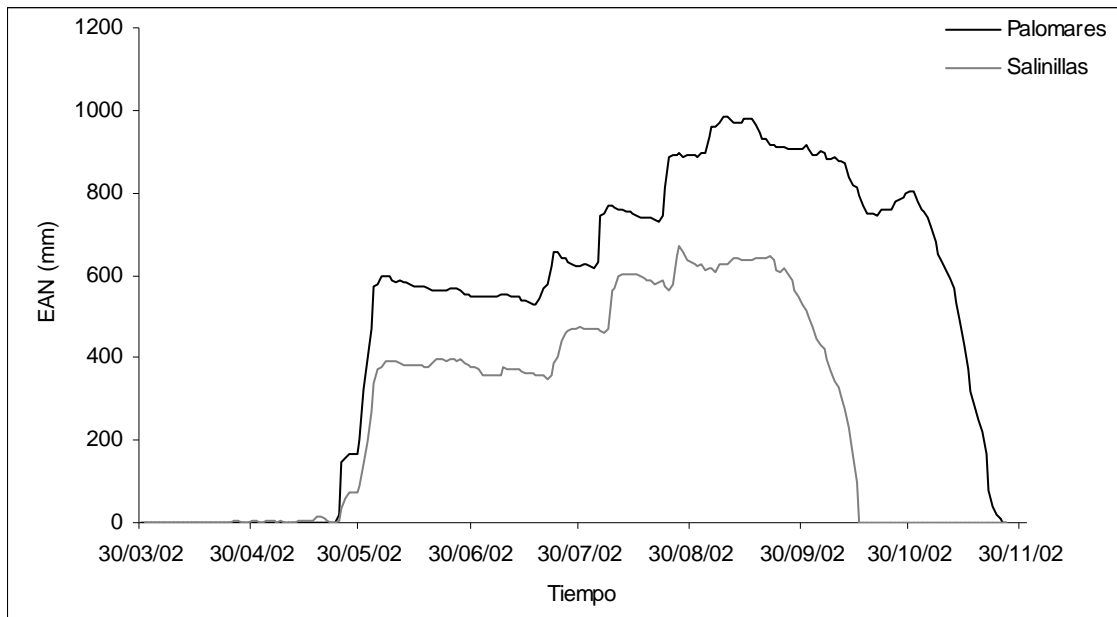


**Figura 3.1.2.3.2 Series de temperaturas medias diarias (TMD)**



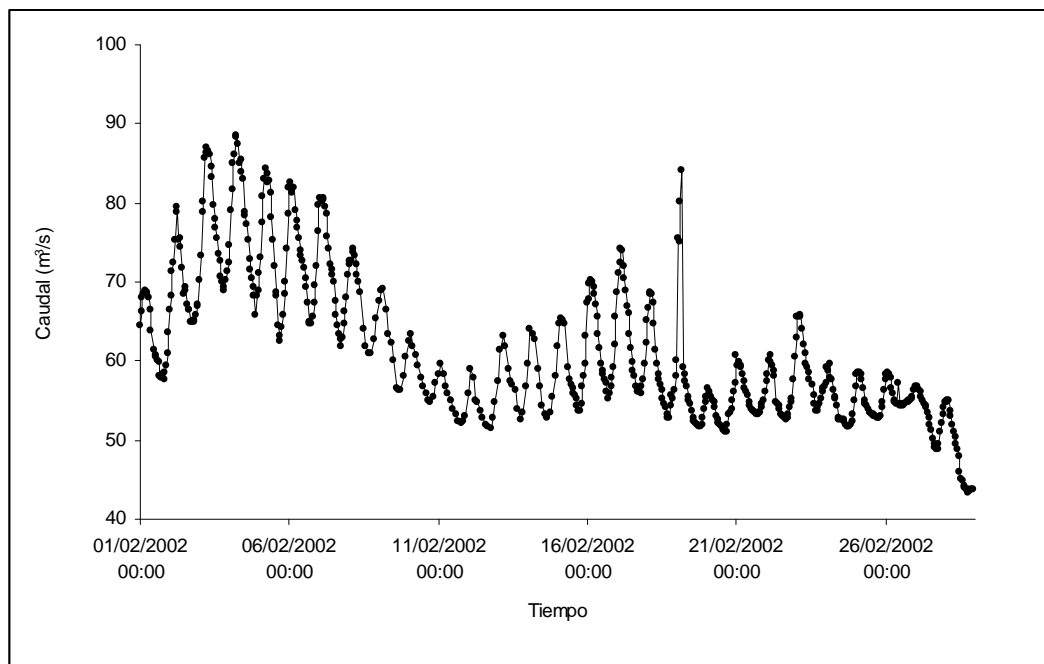
**Figura 3.1.2.3.3 Diferencias de temperatura media entre Valle de Uco y Palomares**

Las series diarias de EAN en el período de calibración del modelo se grafican en la Figura 3.1.2.3.4 y muestran los máximos valores alcanzados, 668.6 mm el 28/08 en Salinillas y 985.6 mm el 09/09 en Palomares, siendo éste valor el máximo observado en el período 2000-2007.



**Figura 3.1.2.3.4 Series de equivalente agua nieve**

La serie de caudales horarios correspondiente a febrero de 2002 fue provista por la SSRH y permite estimar el tiempo de retardo ( $L_t$ ). En la Figura 3.1.2.3.5 se muestran las oscilaciones horarias. En la misma Figura se observa un hidrograma (18/02 21:00 al 19/02 18:00) con un máximo de  $84.02 \text{ m}^3/\text{s}$  producido por una tormenta que representa el valor máximo observado ( $130 \text{ mm}$ ) de precipitación en 24 h en la estación Valle de Uco para el período 1954-2006.



**Figura 3.1.2.3.5 Serie de caudales horarios en Valle de Uco**

### 3.1.2.4. Procedimiento de calibración

Teniendo en cuenta que la mayoría de los parámetros y variables descriptos surgen de la información hidrometeorológica y morfométrica:

- DD:** obtenido a partir de la información de la temperatura media diaria en Valle de Uco y extrapolada en cada zona (altura media hipsométrica de cada zona) mediante el gradiente de temperatura observado entre Valle de Uco y Palomares
- SCA:** obtenido a partir de las imágenes satelitales seriadas temporalmente

es que solamente los siguientes parámetros quedaron indeterminados: Lt, k, cS y MF.

El tiempo de retardo (Lt) fue estimado en base a información de caudales con paso de tiempo horario suministrada por la SSRH (Figura 3.1.2.3.5). Así se pudo observar que los caudales máximos diarios se producen aproximadamente a las 03:00 hrs del día n+1, y considerando que las temperaturas máximas se producen aproximadamente a las 15:00 hrs del día n, es que se adoptó Lt = 12 hrs.

El coeficiente de recesión (K) fue calculado en base a la información del récord completo (25/12/63-22/12/01) de caudales medios diarios de la estación Valle de Uco. En base a la metodología que se explica en el Manual del Usuario de SRM (Martinec, J. et al, 2005) se pudieron determinar los parámetros x e y que requiere el modelo:

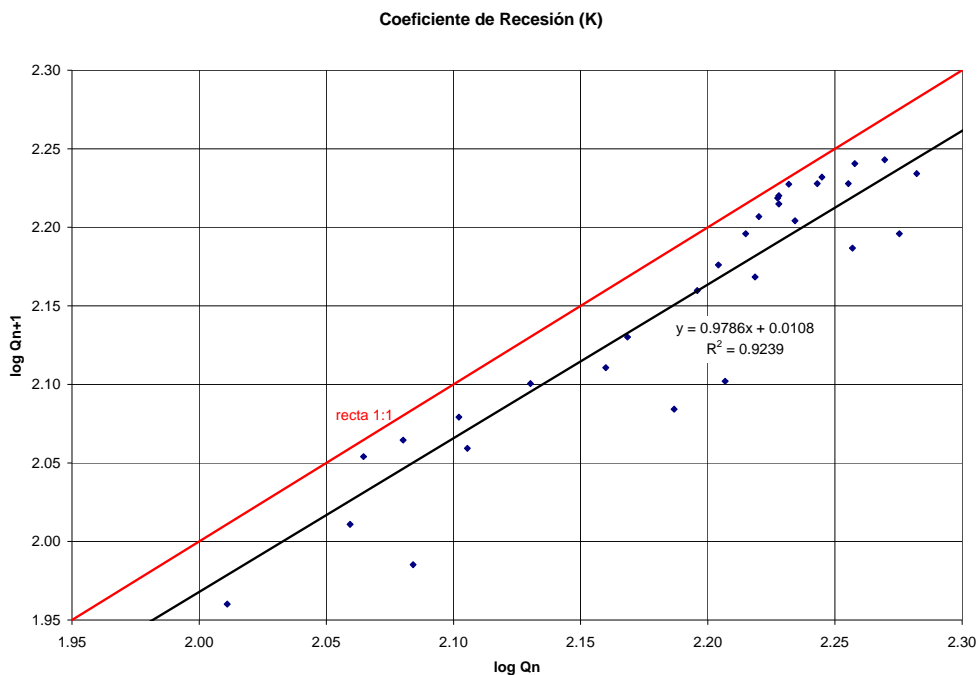


Figura 3.1.2.4.1. Cálculo del coeficiente de recesión

$$k_{n+1} = x \cdot Q_n^{-y} = \frac{Q_{n+1}}{Q_n}$$

$$\log k_{n+1} = \log x - y \log Q_n = \log Q_{n+1} - \log Q_n$$

$$\log Q_{n+1} = 0.0108 + 0.9786 \log Q_n \quad \text{según Figura 3.1.2.4.1}$$

$$R^2 = 0.9239$$

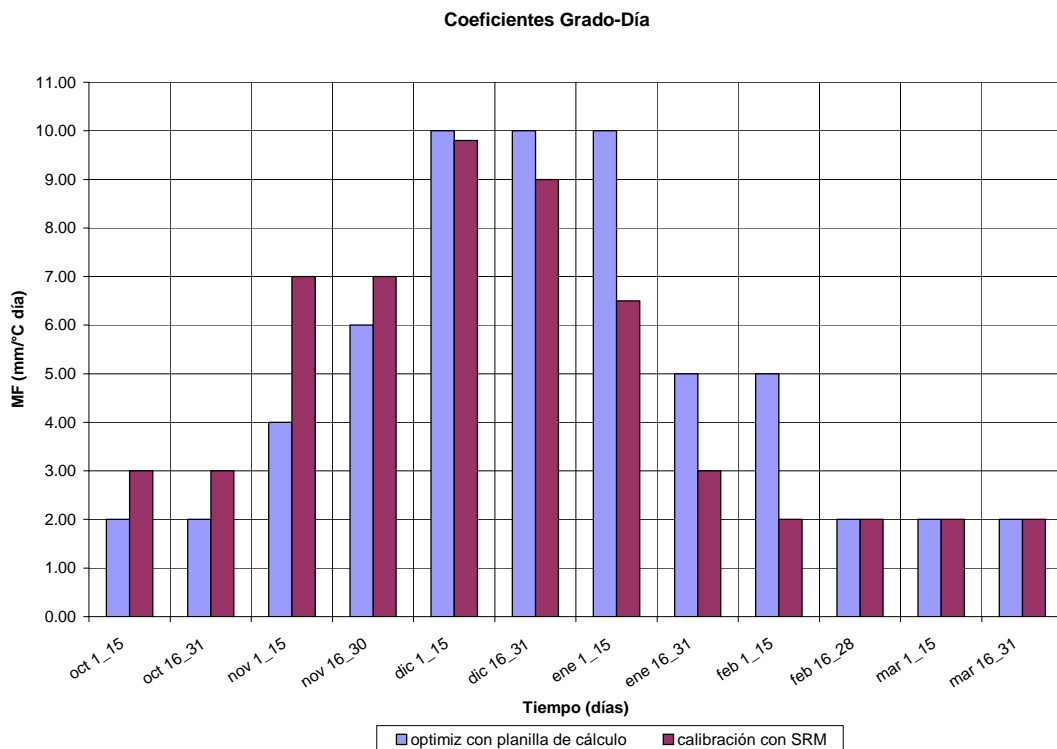
$$\log k_{n+1} = 0.0108 + 0.9786 \log Q_n - \log Q_n = 0.0108 - 0.0214 \log Q_n$$

$$x = 10^{0.0108} = 1.0252$$

$$y = 0.0214$$

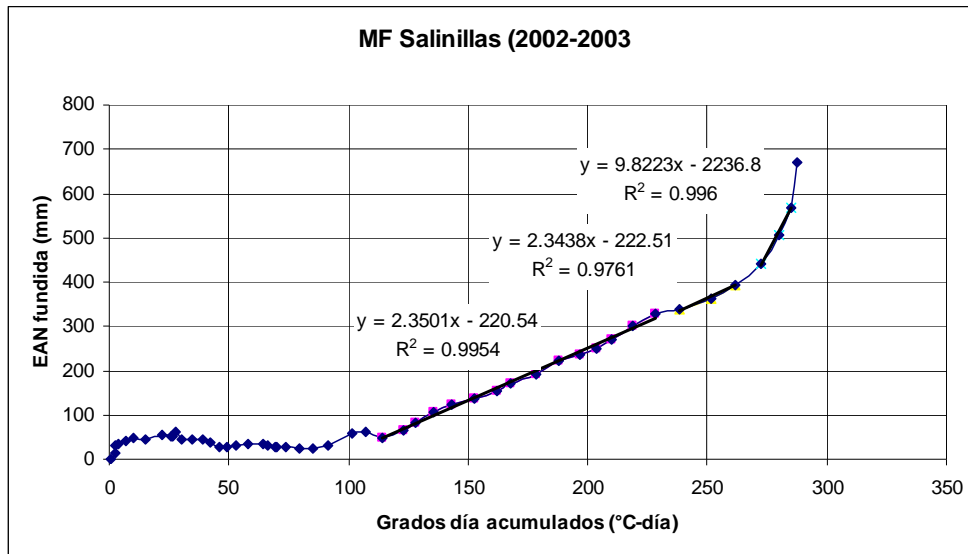
$$k_{n+1} = 1.0252 \cdot Q_n^{-0.0214}$$

Como el modelo SRM no posee la capacidad de optimización de parámetros, se implementó en una planilla de cálculo tal proceso, donde  $cS$  y  $MF_n$  se determinaron en función de una minimización de la suma de los errores cuadráticos entre los caudales medios diarios observados y la fusión nival calculada según el algoritmo (1). Luego, tales valores fueron los iniciales de una calibración iterativa con corridas del SRM, que finalmente arrojó un valor de  $cS = 0.8$  y valores de  $MF$  cada 15 días que se pueden apreciar en la Figura 3.1.2.4.2 conjuntamente con los obtenidos con el proceso de optimización en planilla de cálculo descripto. Los valores de  $MF$  se encuentran dentro de los límites especificados en la bibliografía (OMM, 1994; Linsley, R. et al. 1977) y también comprendidos entre los hallados en la estación Salinillas y Palomares, como se puede apreciar en los valores de la pendiente de la recta correspondiente a los modelos de regresión en las figuras 3.1.2.4.2.3 y 3.1.2.4.4

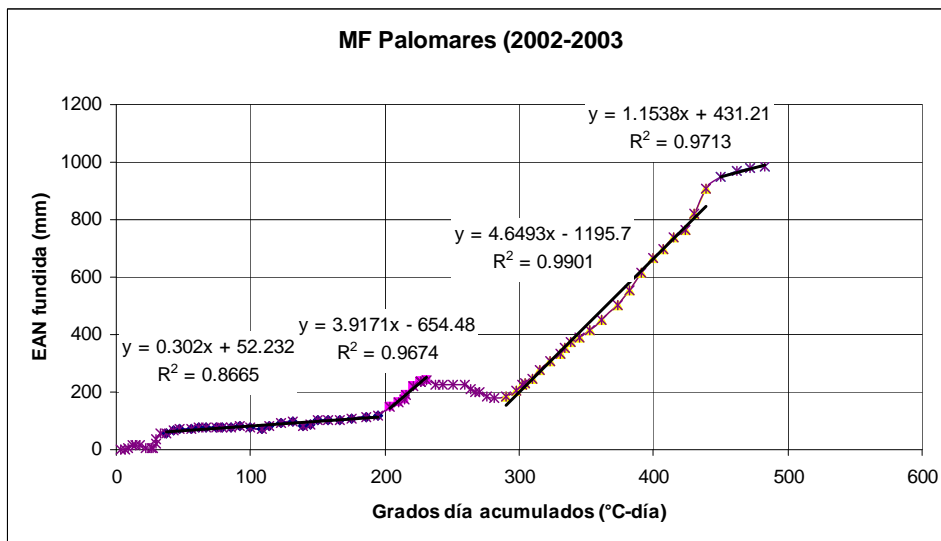


**Figura 3.1.2.4.2. Coeficientes Grado-Día para la calibración de SRM**





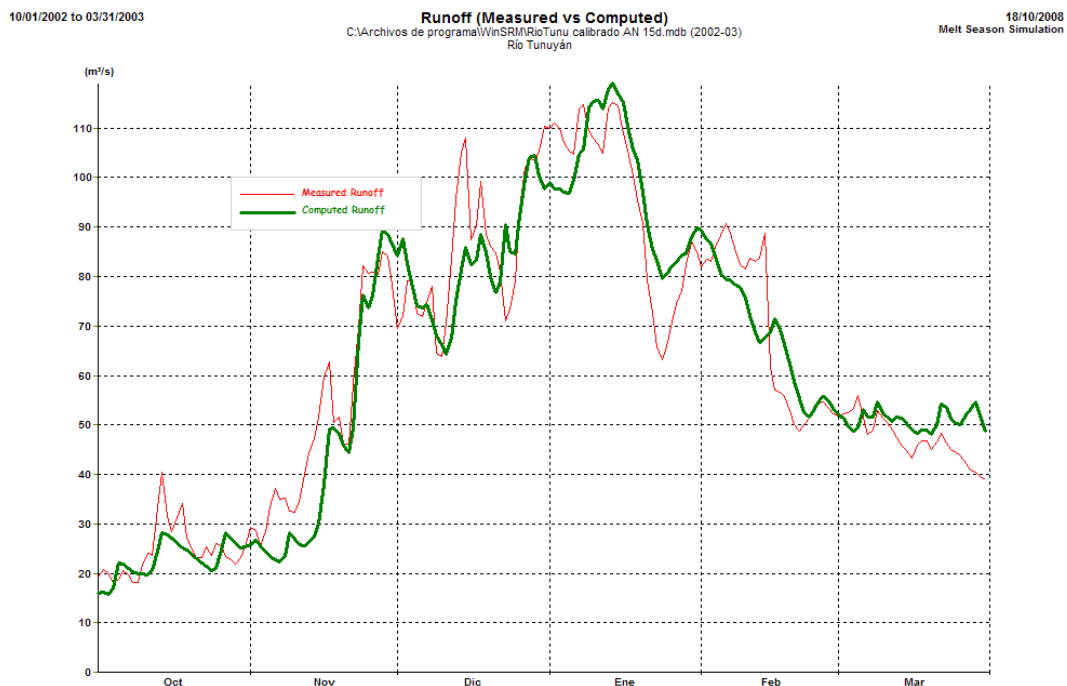
**Figura 3.1.2.4.2.3. Coeficientes grado día (pendiente en las ecuaciones de regresión) en la estación Salinillas (2002-2003)**



**Figura 3.1.2.4.2.4. Coeficientes grado día (pendiente en las ecuaciones de regresión) en la estación Palomares (2002-2003)**

### 3.1.2.5. Aplicación del SRM y conclusiones

La aplicación del modelo SRM con los parámetros y variables explicitadas permitió obtener un hidrograma calculado que se puede observar en la Figura 3.1.2.5.1 en comparación con el hidrograma observado en Valle de Uco.



**Figura 3.1.2.5.1. Calibración de SRM con evento 2002-03**

Esta calibración tiene una diferencia de volúmenes entre observado y simulado de 1.2% y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9078$ . Siendo:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

donde:

- $R^2$  = medida de la eficiencia del modelo
- $Q_i$  = caudal diario observado
- $Q'_i$  = caudal diario simulado
- $\bar{Q}$  = caudal medio del período de simulación
- $n$  = número de valores de caudal diario

Como se puede apreciar el ajuste es satisfactorio ya que se ha logrado reproducir el hidrograma registrado en Valle de Uco con parámetros que se encuentran dentro de los límites indicados por la bibliografía, lo cual permite asumir que el modelo SRM es aplicable en la cuenca del Río Tunuyán.

### 3.1.3. Desarrollo de la crecida de diseño por fusión nival

Teniendo en cuenta que:

- el 18 diciembre de 2001 se produce un  $Q_{\text{instantáneo}} = 296.65 \text{ m}^3/\text{s}$ , resultando ser el máximo maximorum del récord en la estación Valle de Uco

- el valor de EAN máximo correspondiente a la temporada 2001-2002 de 790.6 mm (05/10/2001) es el segundo en el récord registrado en la estación Palomares,

es que se selecciona esta temporada, 2001-2002, como base para desarrollar la crecida de diseño en su componente nival.

Para desarrollar la crecida de diseño se han considerado las siguientes variables hidrometeorológicas del período 01/10/01-31/03/02 que se describen en la sección 3.1.3.2:

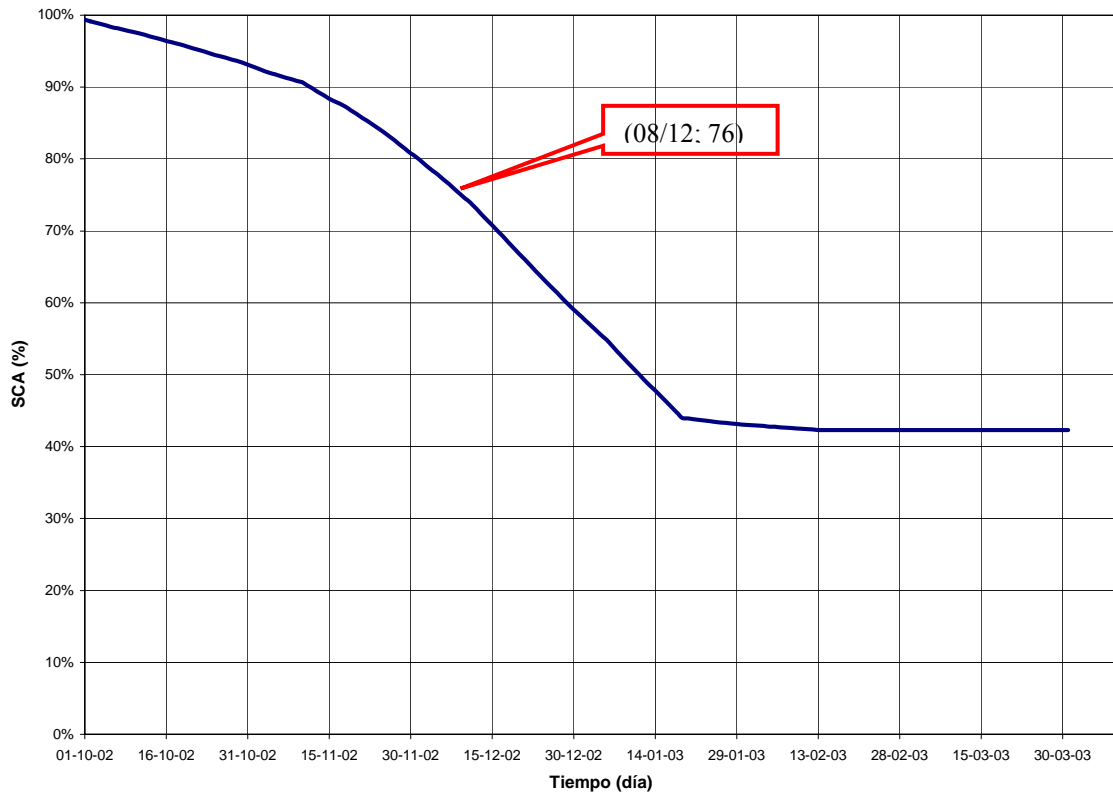
- Temperaturas medias diarias en Valle de Uco
- Temperaturas medias diarias en Palomares
- Gradiente de temperatura media diaria entre Valle de Uco y Palomares
- Caudales medios diarios en Valle de Uco

### ***3.1.3.1. Área cubierta de nieve***

Para la crecida de diseño, se consideró una variación temporal y espacial de la cobertura nival (SCA), que tuvo como base la descripta para la temporada de calibración del modelo SRM 2002-2003.

Las curvas de variación temporal y espacial de la cobertura nival (curvas SCA) de las zonas A a I (bandas de elevación cada 500 m) del 2002-2003 fueron modificadas de manera tal de lograr, a través de un procedimiento iterativo, que, al momento del inicio de la secuencia crítica de temperaturas (08/12), existiera en la cuenca una cobertura nival del orden del 75% a efectos de cumplimentar que *“en cuencas con rangos significativos de elevación, ésta deberá estar completamente cubierta de nieve sobre una elevación razonable correspondiente a la época del comienzo de la secuencia extrema de temperatura”* (Alberta Transportation, 2004).

El mencionado proceso iterativo culminó en 76% de SCA (Figura 3.1.3.1.1) que se corresponde con la altitud de 3271 m snm, es decir 427.5 m bajo la altura media hipsométrica de la cuenca del Río Tunuyán, que es coincidente con que las zonas D a I se encuentran con cobertura nival de 100%.



**Figura 3.1.3.1.1. Cobertura nival de la cuenca completa del río Tunuyán**

La zona C, ubicada entre cotas 2700 y 3200 m snm, comprende a la estación Palomares, a cuya altitud de 2900 m snm le corresponde el 70% superior de la zona. Considerando que en el caso del máximo valor de EAN registrado en Palomares de 985,6 mm, la nieve fundió totalmente el 27/11 es que el trazado de la curva de SCA de la zona C contempla al punto (27/11;0.7).

En la Figura 3.1.3.1.2 se pueden apreciar comparativamente las curvas SCA correspondientes al año 2002-2003 y las que se adoptaron para la crecida de diseño.

Las curvas de SCA que se aprecian en la Figura 3.1.3.1.3 están delineadas de manera tal que también acompañan en el trazado a la correspondiente a la zona C.

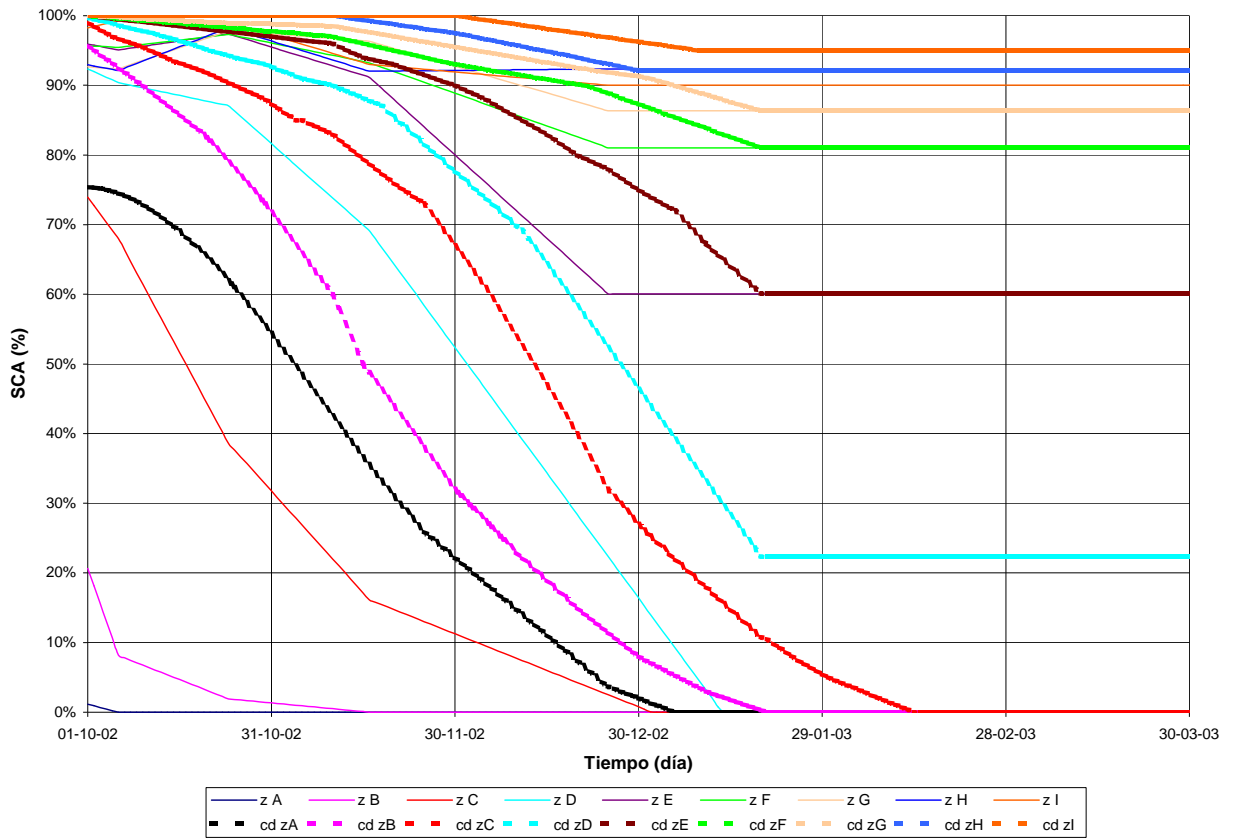


Figura 3.1.3.1.2. Curvas SCA correspondientes al año 2002-2003 (zA a zI) y curvas SCA que se adoptaron para la crecida de diseño (cd zA a cd zI)

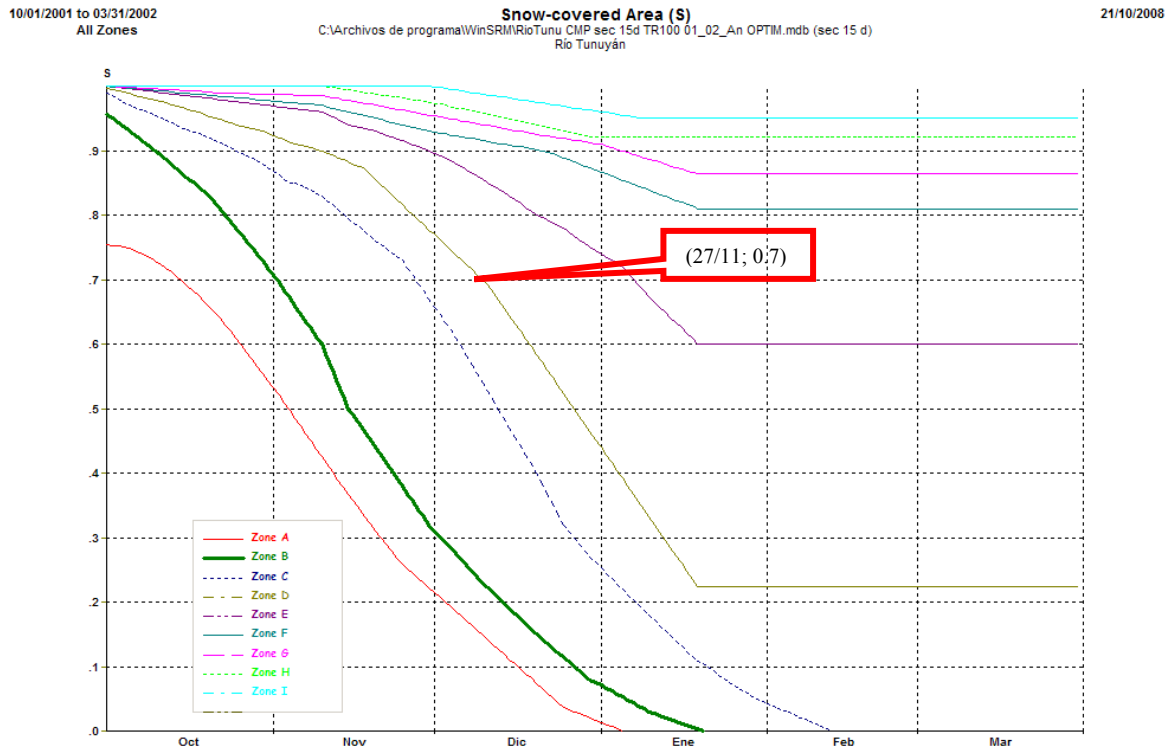


Figura 3.1.3.1.3. Variación temporal y espacial del área cubierta de nieve para la Crecida de diseño

### 3.1.3.2. Información termométrica

Dado que el modelo SRM necesita como variable de entrada una serie de temperaturas medias en la estación base, se estudiaron las temperaturas medias en Valle de Uco a fin de realizar un análisis de frecuencias de las secuencias máximas de temperaturas de quince días. La máxima secuencia de quince días se observa en el año hidrológico 1995-1996 (Figura 3.1.3.2.1 y Tabla 3.1.3.2.1).

El análisis de frecuencias de valores máximos anuales de secuencia de quince días de temperatura media en Valle de Uco se realizó utilizando el software HYFRAN© (Bobée. et al., 1998). Luego de pruebas con distintas funciones de probabilidad se seleccionó la Gumbel a través de los criterios de información Bayesian Information Criterion (BIC) y Akaike Information Criterion (AIC). El ajuste de la distribución Gumbel, con parámetros estimados por el método de máxima verosimilitud, se puede apreciar en la Figura 3.1.3.2.2.

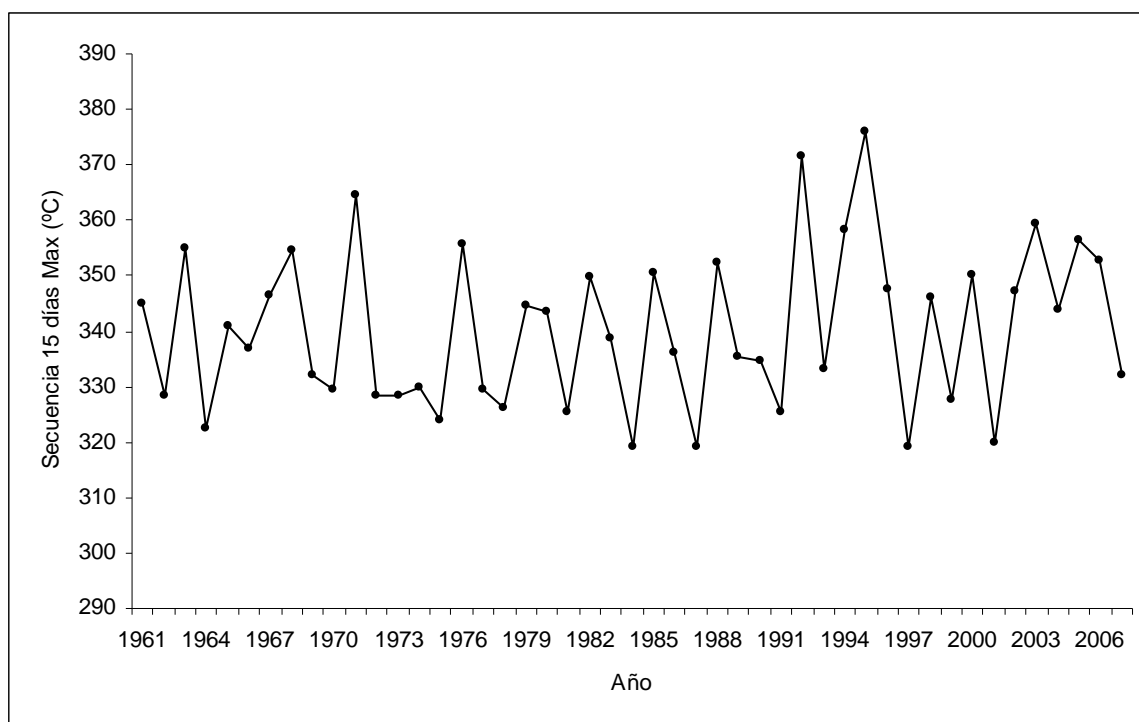
En base a tal distribución se pudo determinar que la secuencia crítica de temperatura correspondiente a TR= 100 años es de 389 grados-día acumulados (Tabla 3.1.3.2.2), la cual se distribuyó en forma proporcional en los 15 días según la máxima histórica (Tabla 3.1.3.2.1)

**Tabla 3.1.3.2.1 Máxima secuencia de quince días de temperatura media en Valle de Uco**

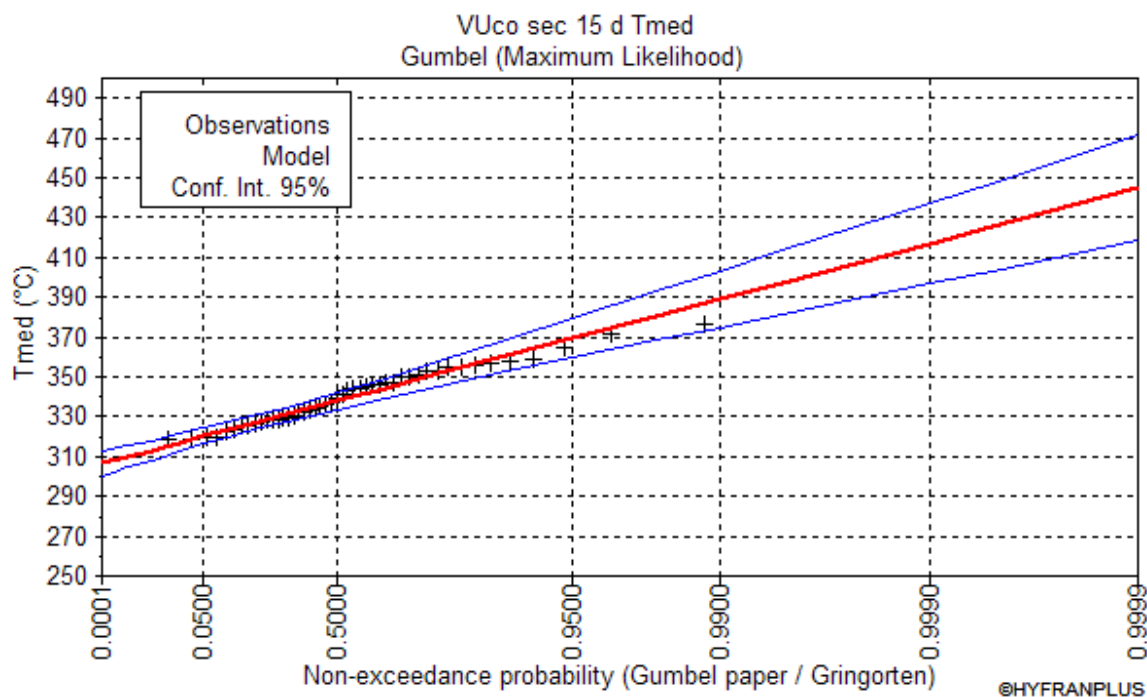
Secuencia quince días máxima			
Año	Mes	Día	T media (°C)
		17	25.5
		18	25.0
		19	28.0
		20	27.0
		21	22.5
		22	25.0
		23	23.5
1995	12	24	25.5
		25	25.5
		26	25.5
		27	25.5
		28	25.5
		29	25.0
		30	24.0
		31	23.0
		Suma	<b>376.0</b>

**Tabla 3.1.3.2.2. Análisis de frecuencias de valores máximos anuales de secuencia de quince días de temperatura media en Valle de Uco. Ajuste de la distribución Gumbel**

TR (años)	grados-día acumulados
10000	445
2000	425
1000	417
500	409
250	400
100	389
50	381
20	369
10	361
5	352
2	338



**Figura 3.1.3.2.1. Serie de máximos quince días de temperatura media en Valle de Uco**



**Figura 3.1.3.2.2. Análisis de frecuencias de valores máximos anuales de secuencia de quince días de temperatura media en Valle de Uco. Ajuste de la distribución Gumbel**

### 3.1.3.3. Coeficiente grado-día

A efectos de determinar los coeficientes grado-día (MF) quincenales se implementó en una planilla de cálculo un procedimiento de estimación, que utiliza como función objetivo la minimización de la suma de los errores cuadráticos entre los caudales medios diarios observados en la temporada 2001-2002 y la fusión nival calculada según el algoritmo (1), con las hipótesis mencionadas sobre cobertura nival. En este procedimiento se adoptó un valor de coeficiente de escurrimiento  $cS = 0.8$ , igual al de la calibración, según se explicó en la sección 3.1.2.4. En la Figura 3.1.3.3.1 se puede apreciar la calidad del ajuste logrado ( $\Sigma$  errores cuadráticos = 0.087).

Los valores de MF cada 15 días para la crecida de diseño se pueden apreciar en la Figura 3.1.3.3.2 conjuntamente con los obtenidos en la calibración.



Ajuste para obtener MF para la Crecida de Diseño

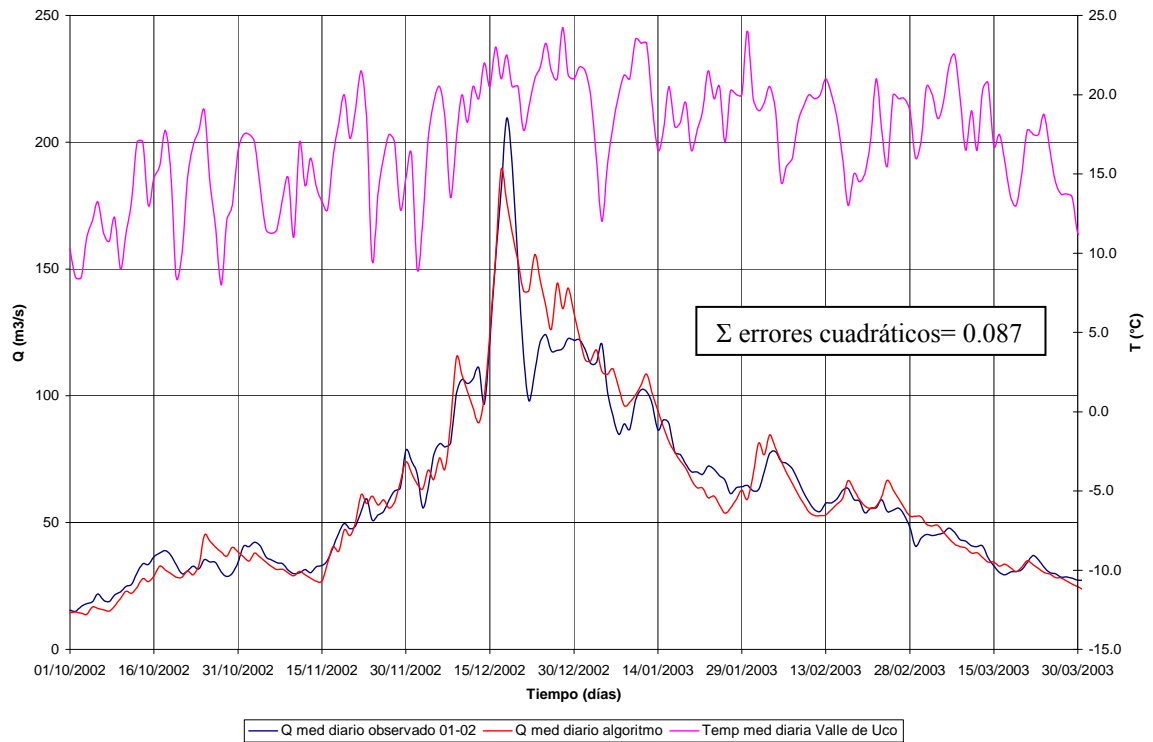


Figura 3.1.3.3.1. Ajuste con procedimiento implementado en planilla de cálculo

Coefficientes Grado-Día

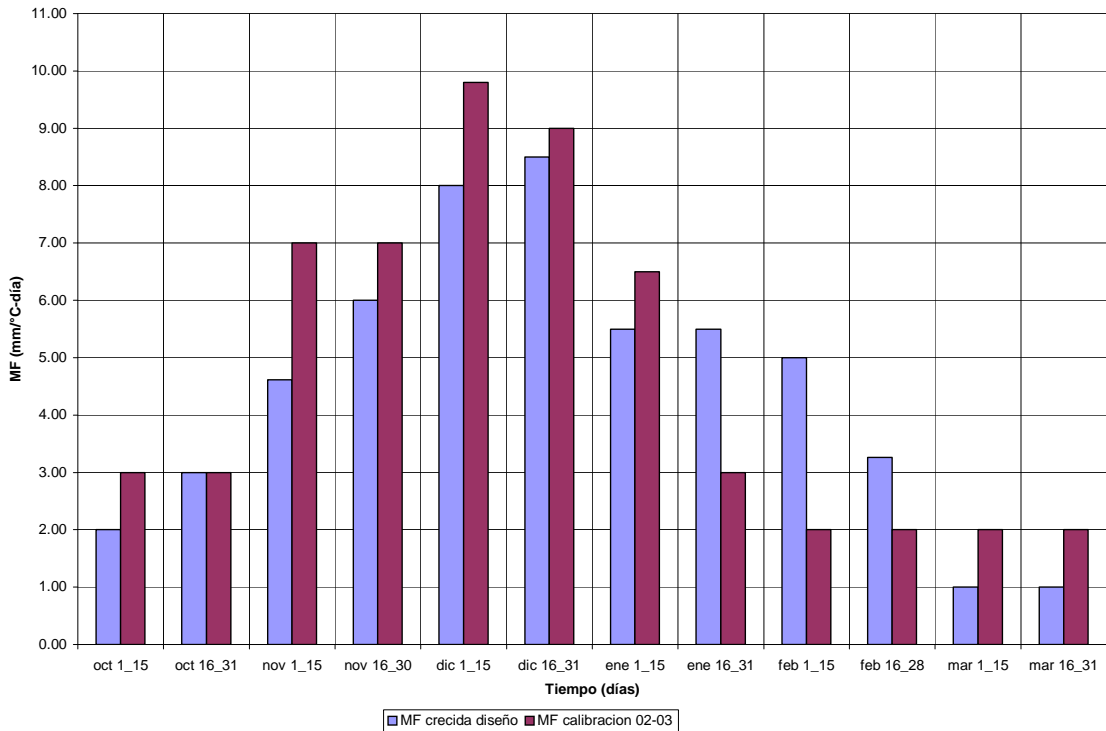


Figura 3.1.3.3.2. Coeficientes grado-día para la crecida de diseño

### 3.1.3.4. Aplicación del SRM

Con la información descrita en las secciones 3.1.3.1 a 3.1.3.3 se aplicó el modelo SRM a efectos de conformar la componente de fusión nival de la crecida de diseño.

En la Figura 3.1.3.4.1 se puede apreciar el hidrograma generado con un caudal medio diario máximo de 1007 m<sup>3</sup>/s el 21 de diciembre.

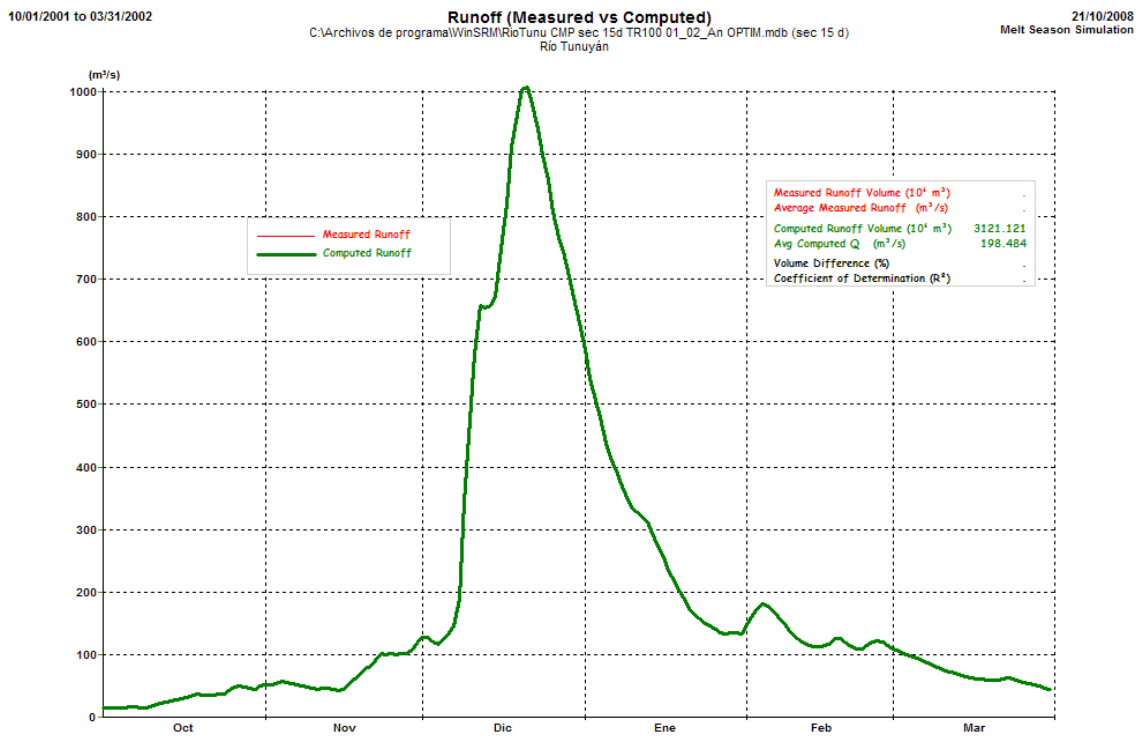


Figura 3.1.3.4.1. Hidrograma por fusión nival de la crecida de diseño

En la Figura 3.1.3.4.2 se puede observar la variación diaria de la temperatura en Valle de Uco para el período octubre 2001-marzo 2002 con la inclusión de la secuencia crítica de temperatura (TR= 100 años) de 389 grados-día acumulados desde el 08 al 23/12, en coincidencia temporal con la secuencia de temperaturas que producen el caudal máximo observado.

Considerando que la estación Palomares es representativa de la zona C, se puede asumir que la relación  $r= 2.17$ , entre el EAN fundida en la zona C (2139.6 mm) (Figura 3.1.3.4.3) y el EAN máximo del récord de la estación Palomares (985.6 mm), conforma lo establecido en Alberta Transportation (2004): “para obtener la acumulación nival maximizada, el valor correspondiente a recurrencia 100 años debería ser multiplicado por un factor cercano a 2”. En este caso no se ha podido comparar con el valor correspondiente a recurrencia 100 años debido a la corta longitud del récord de la estación Palomares (8 años).

Por lo expuesto se puede concluir que a través de una modelación determinística con el SRM se ha podido conformar la componente de fusión nival de la crecida de diseño cumplimentando lo especificado para el caso por la bibliografía mencionada.

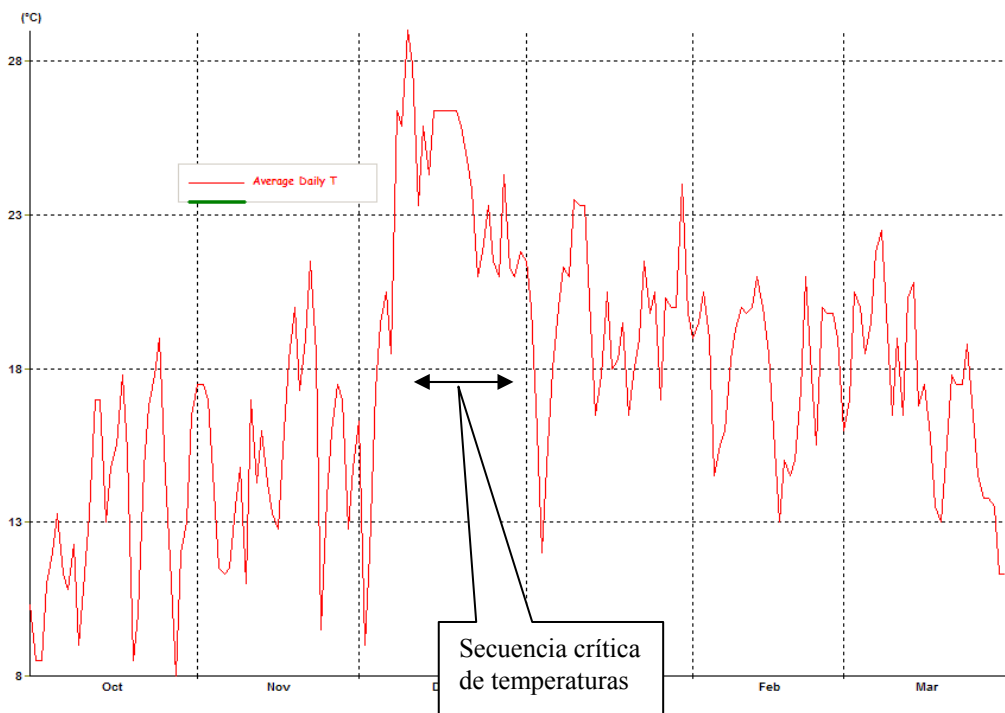


Figura 3.1.3.4.2. Temperaturas para la Crecida Nival de Diseño

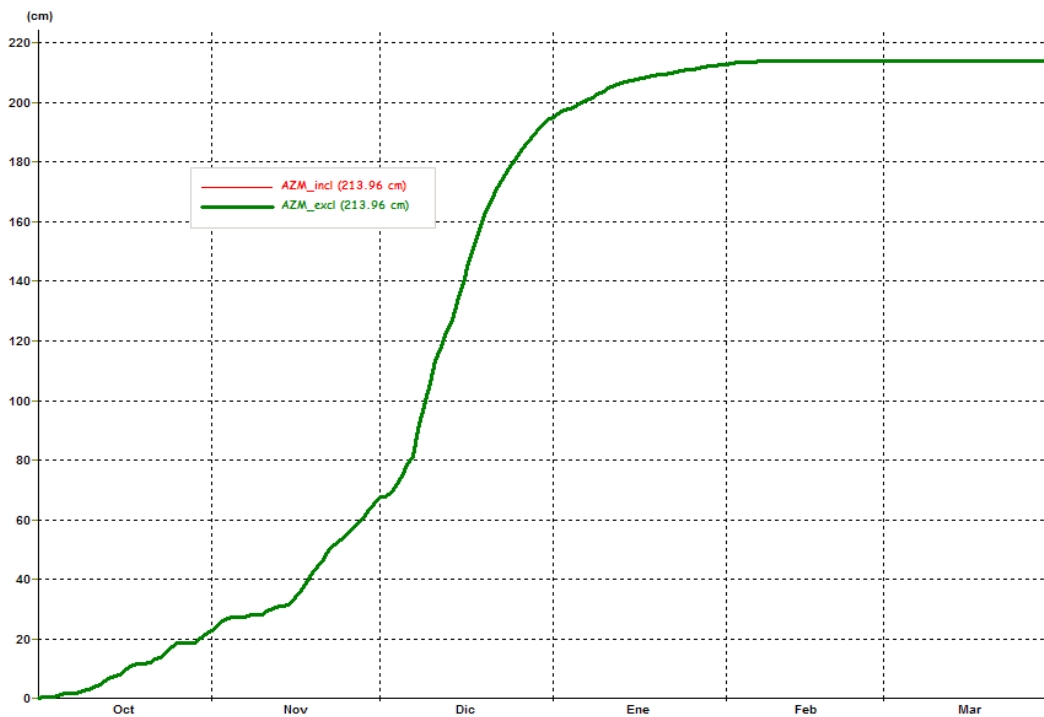


Figura 3.1.3.4.3. EAN fundida en la zona C

## **3.2. COMPONENTE PLUVIAL**

Durante la temporada estival (octubre a marzo) en el pedemonte y planicie de la cordillera andina central se producen intensas tormentas de origen convectivo que generan, al precipitar sobre cuencas aluvionales, crecidas importantes en cuanto a caudales máximos.

Las tormentas convectivas generalmente son aproximadamente de una hora de duración y con un acentuado decaimiento espacial.

La fuerte pendiente de las cuencas aluvionales y la corta duración de las tormentas confluyen en la producción de tiempos de concentración del orden de minutos y una distribución de volúmenes de escurrimientos que generan caudales picos de importante magnitud.

Este tipo de fenómeno aluvional ha sido motivo de estudio por parte del INA especialmente en el pedemonte que abarca el área del Gran Mendoza, donde se han generado curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) y caracterizaciones típicas de las tormentas en cuanto a sus distribuciones temporal y espacial, a partir de la información de la Red Hidrometeorológica Telemétrica que el INA opera desde 1984.

Por lo expuesto, y considerando lo expresado en la sección 3.: según (Alberta Transportation, 2004) *“la Crecida Máxima Probable (CMP) con fusión nival como efecto dominante es especificada como una acumulación nívea maximizada seguida por una secuencia extrema de temperatura y una lluvia de recurrencia 100 años”*, se ha considerado sumar a la componente de fusión nival una crecida de origen pluvial desarrolladas en las cuencas cercanas afluentes a los embalses Los Blancos y Los Tordillos para conformar la Crecida de Diseño.

### **3.2.1. Modelo ARHYMO**

El modelo ARHYMO es un modelo de transformación lluvia-caudal, de tipo determinístico y de parámetros concentrados, desarrollado por el INA y que es ampliamente utilizado en Argentina desde 1993. En este estudio se hizo uso de la nueva versión en entorno MS Windows® (Fornero, et al., 2002).

ARHYMO utiliza, para la consideración de las pérdidas en la precipitación, la metodología del U.S. Soil Conservation Service (actualmente U.S. NRCS), y, para la transformación del hietograma de precipitación efectiva en hidrograma, tiene implementado un hidrograma unitario instantáneo fundamentado en la analogía de Nash (representación matemática de la cuenca como n embalses lineales en serie).

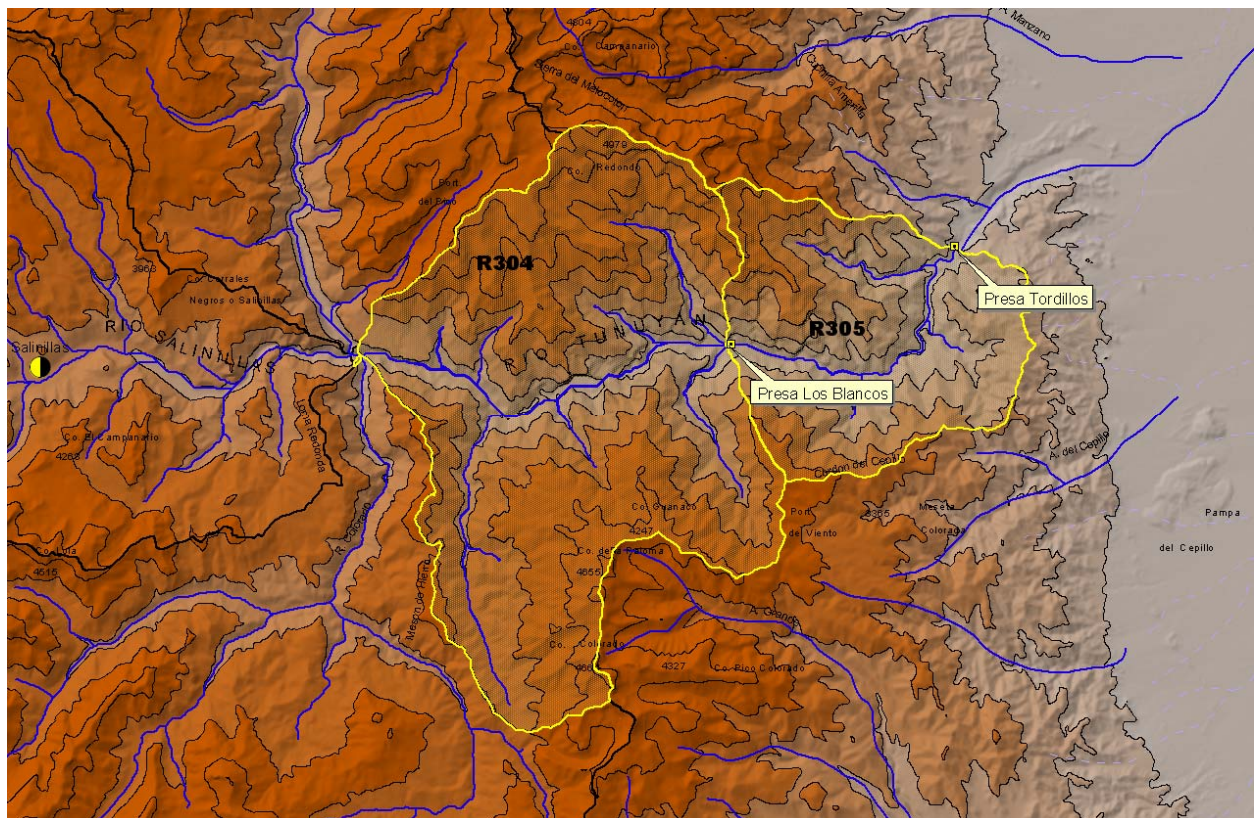
### **3.2.2. Cuencas de aporte pluvial**

Como áreas de aporte pluvial se consideraron las subcuencas R304 y R305. La subcuenca R304 nace en la confluencia de los ríos Alto Tunuyán, Salinillas y Colorado y termina en la Presa Los Blancos. Por otro lado, la subcuenca R305 es el área comprendida entre las presas Los Blancos y Los Tordillos (Figuras 3.2.2.1 y 3.2.2.2).

Las mencionadas cuencas están caracterizadas por los parámetros morfométricos que se detallan en la Tabla 3.2.2.1

**Tabla N° 3.2.2.1. Parámetros morfométricos de las cuencas de aporte pluvial**

<b>Cuenca</b>	<b>Descripción</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Perim. [km]</b>	<b>Elev. Media [m snm]</b>	<b>Cota máx [m snm]</b>	<b>Cota mín. [m snm]</b>	<b>DH [m]</b>	<b>Long flujo máx [km]</b>	<b>Pend. [m/m]</b>
<b>R304</b>	Cuenca Río Tunuyán	329.66	113.31	2819.9	4661	1786	2875	33.58	0.086
<b>R305</b>	Cuenca entre Presas Los Blancos y Los Tordillos	142.17	65.88	2370.8	4066	1352	2714	21.28	0.128



**Figura 3.2.2.1. Cuencas de aporte pluvial (entre confluencia ríos Tunuyán, Salinillas y Colorado y presa Los Tordillos)**

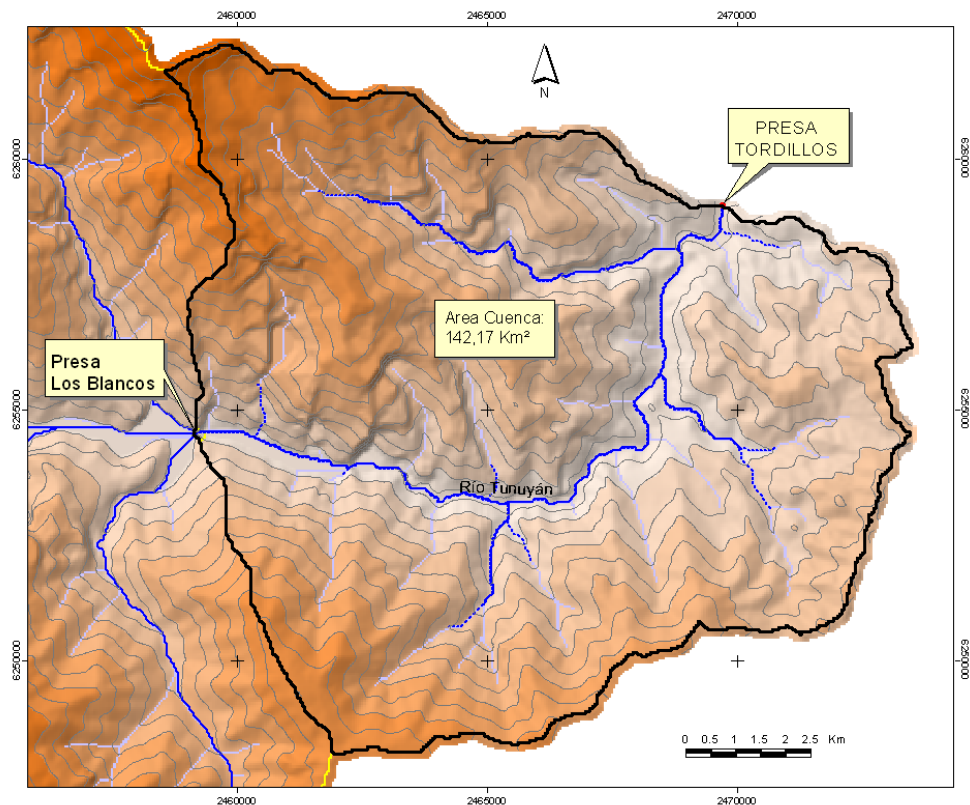


Figura 3.2.2.2. Detalle de Cuenca Tordillos (entre Presa Los Blancos y Presa Tordillos)

### 3.2.2.1. Determinación de valores de CN

La determinación del potencial de escurrimiento se realizó en función del número de curva (CN; metodología del U.S. Soil Conservation Service, hoy NRCS) y se llevó a cabo de forma distribuida utilizando el SIG ArcView 3.2a y tablas de clasificación.

El cruzamiento espacial de los mapas de uso de suelos y el del tipo hidrológico de suelos se realizó por medio de un procesamiento de álgebra de mapas y se obtuvo para cada cuenca el CN ponderado por área, debido a que el modelo hidrológico utilizado es del tipo concentrado.

Para que en la operación de superposición necesaria para realización del mapa del CN no haya números iguales, cada clase de las variables usos y tipos de suelos se reclasificó previamente asignando a cada identificador un número primo. El mapa resultante se volvió a clasificar asignando el correspondiente CN a su biunívoco producto de números primos.

Al tratarse de una zona aluvional, con grandes diferencias de niveles, se corrigió el mapa de CN en función de la pendiente.

Una forma de resumir la metodología empleada es mediante la representación por flujograma de las operaciones realizadas (Figura 3.2.2.1.1).



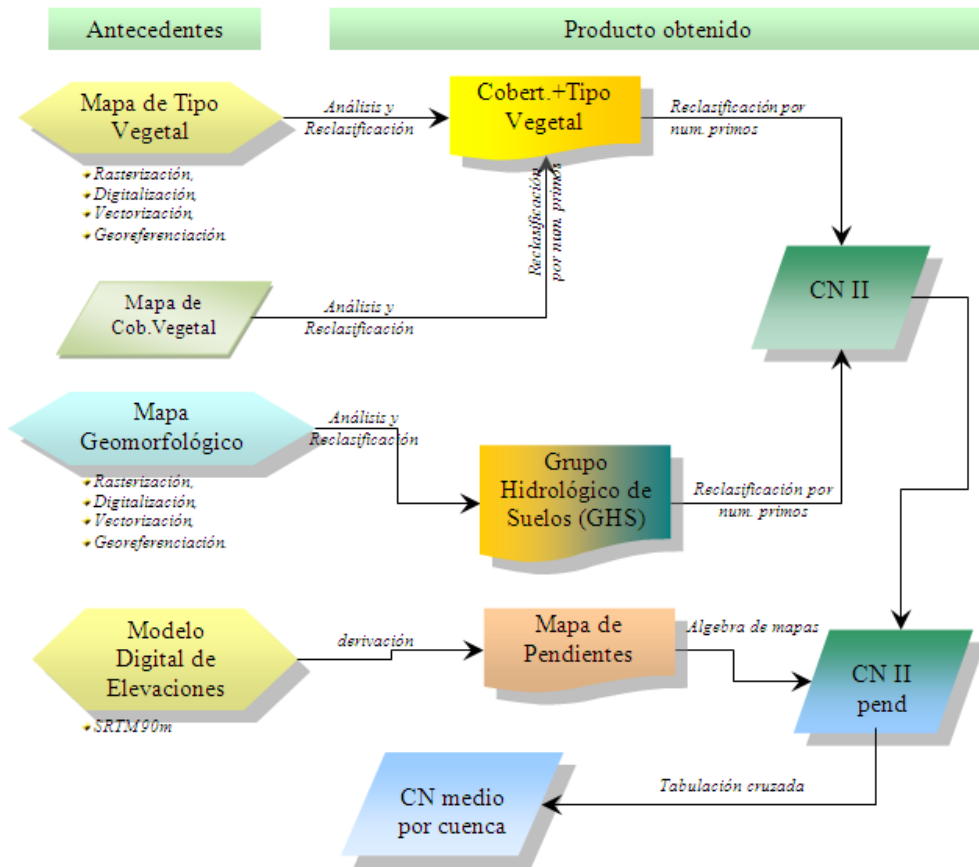


Figura 3.2.2.1.1. Flujograma cartográfico aplicando álgebra de mapas y reclasificación para cálculo de CN

Se utilizó el mapa de vegetación elaborado por (Roig, Fidel et al.), el cual se vectorizó previa georeferenciación. Se detectaron seis clases de vegetación (Figura 3.2.2.1.2 y Tabla 3.2.2.1.1) y se las clasificó según su capacidad de drenaje o retención.

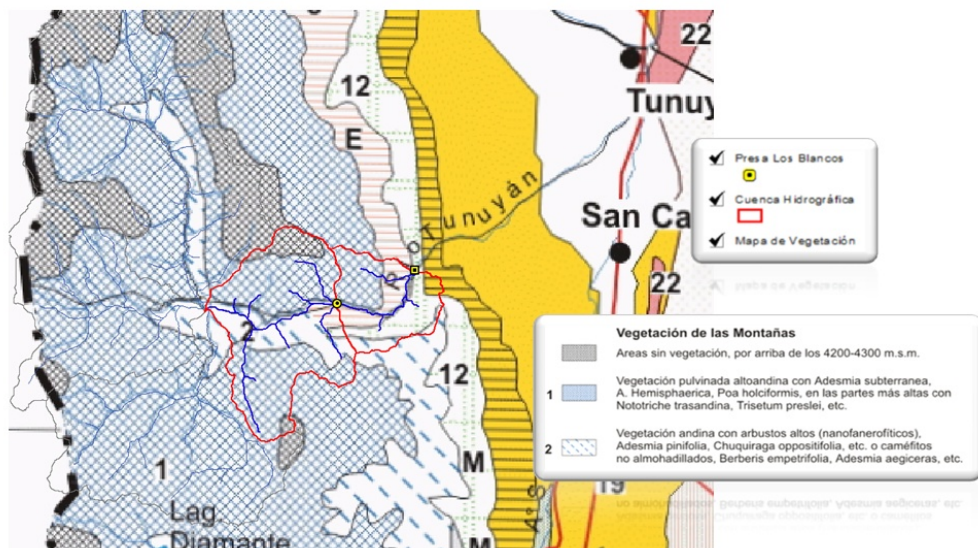







Figura 3.2.2.1.2. Mapa de Tipología Vegetal



**Tabla 3.2.2.1.1. Clasificación hidrológica de tipologías vegetales presentes en función de características de drenaje**

Clase	Descripción	Grupo	Predominio	Foto	Capac. Retención	Re-clasif.
1	Vegetación andina con arbustos altos	Matorrales	<u>Adesmia pinifolia</u> / Chuquiraga oppositifolia / Berberis empetrifolia / Adesmia aegiceras		Regular a buena	(2)
2	Areas sin vegetación		Cota > 4200m		S/Ret.	(3)
3	Vegetac. Vertiente oriental	Pastizal (herbácea bajo crecim)	Adesmia horrida / <u>Mulinum spinosum</u> / Nassauvia axillaris		Regular a buena	(5)
4	Matorrales húmedos	Matorrales y cactáceas	<u>Junellia scoparia</u> / Colliguaja integerrima / Schinus fasciculatus / Grandes cactaceas: Lobivia formosa / Denmoza rhodacantha		Buena	(7)
5	Vegetación de Piedemonte	Jarillales (Mata desértica)	<u>Larrea divaricata</u> / Stipa tenuis/ Piptochaetium napostaense		Buena	(11)
6	Vegetación pulvinada altoandina	Pastizal (herbácea bajo crecim)	<u>Adesmia subterranea</u> / A. Hemisphaerica / Poa hociformis /		Muy Buena	(13)

Partiendo de una rasterización del mapa de cobertura vegetal (Figura 3.2.2.1.3) se clasificó el mismo en tres clases (Tabla 3.2.2.1.2) y por procesamiento de mapas con cruzamiento espacial entre tipología y cobertura se obtuvo la Tabla 3.2.2.1.3, previa reclasificación a números primos.

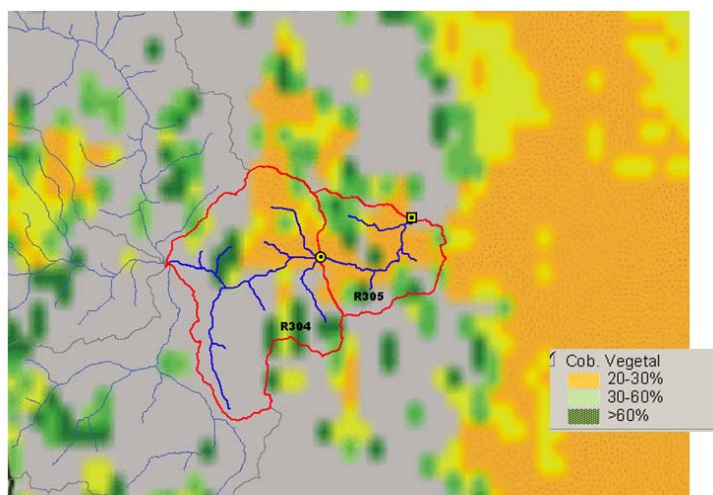


Figura 3.2.2.1.3. Mapa de cobertura vegetal

Tabla 3.2.2.1.2. Cobertura vegetal

Clase	Cobertura	Descripción	Reclasificación
1	20-30%	Baja	(37)
2	30-60%	Media	(41)
3	>60%	Alta	(43)

Tabla 3.2.2.1.3. Agrupamiento de Tipo de Vegetación y Cobertura vegetal

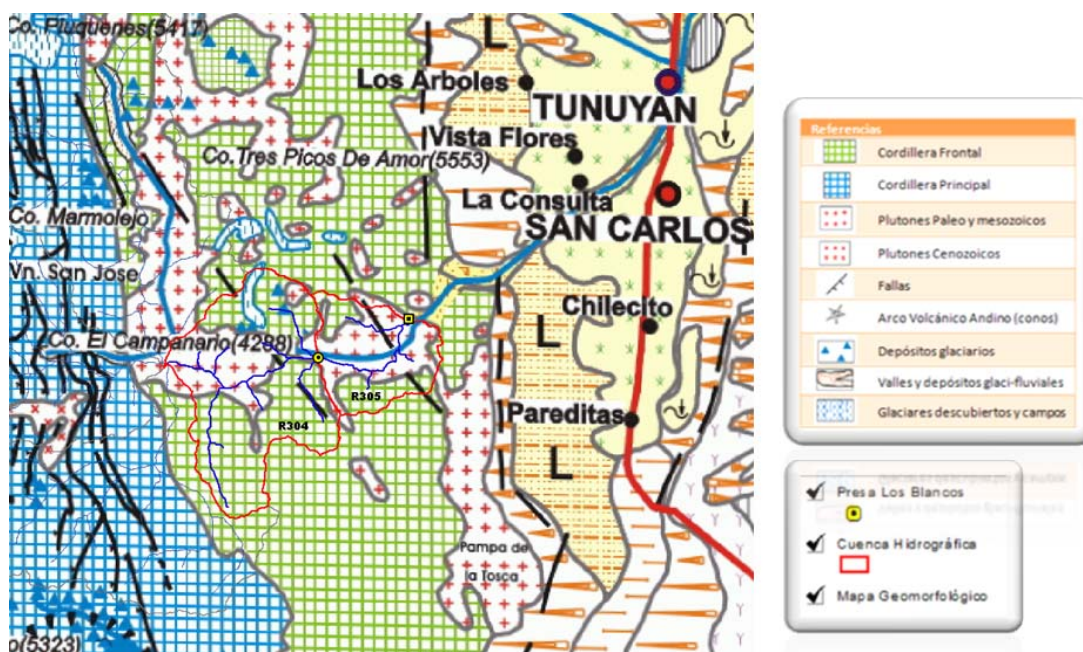
Clase original	Tipo Vegetación	Nº Primo asignado	Cobertura Vegetal		
			Baja <30%	Media 30-60%	Buena >60%
			Reclasificación		
			(37)	(41)	(43)
1	Matorrales	(2)	74	82	86
2	Sin vegetación	(3)	111	123	129
3	Pastizales	(5)	185	205	215
4	Matorrales	(7)	259	287	301
5	Jarillales	(11)	407	451	473
6	Pastizales	(13)	481	533	559

Obtenidas las seis clases de vegetación con las tres clases de cobertura (baja, media y buena) se procedió a reagrupar en cuatro clases (impermeable, matorral, pastizal y jarillal) y reclasificar el mapa a números primos (Tabla 3.2.2.1.4).

**Tabla 3.2.2.1.4. Reclasificación de los resultados de cobertura y tipología de vegetación**

Clase	Resultado operación	Primo asignado
Impermeable	111	(43)
	123	
	129	
Matorral baja cob.	74 y 259	(9)
Matorral media cob.	82 y 287	(11)
Matorral alta cob.	86 y 301	(13)
Pastizal baja cob.	185 y 481	(17)
Pastizal media cob.	205 y 533	(19)
Pastizal alta cob.	215 y 559	(23)
Jarillal baja cob.	407	(29)
Jarillal media cob.	451	(31)
Jarillal alta cob.	473	(37)

Del mapa geomorfológico antecedente (Figura 3.2.2.1.4), se vectorizaron los límites de las geoformas, estableciendo cuatro clases indicadas en Tabla 3.2.2.1.5. Luego se asignó un tipo hidrológico de suelo para cada clase y finalmente se reclasificó en números primos.



**Figura 3.2.2.1.4. Mapa Geomorfológico**

**Tabla 3.2.2.1.5. Clasificación hidrológica de suelos en función de características geomorfológicas**

Clase	Grupo	Descripción	Tipo Hidrológico	Reclasificación
1	Plutones	Macizo cuerpo menor paleozoico	D	7
2	Cordillera Frontal	Sedimentitas y metamórficas paleozoicas	C	5
3	Glaciar descubierto	Campo de nieve perenne	D	7
4	Valle depósito Glacifluvial	Depósito galcifluv - Aluvio actual	B	3

A=1 ; B=3 , C=5 , D= 7

Obtenidos los mapas de uso (en función del tipo y cobertura vegetal) y del grupo hidrológico de suelos (obtenido del mapa geomorfológico) se procedió a realizar un cruzamiento espacial por medio de la multiplicación de aquellos mapas y los resultados obtenidos (Tabla 3.2.2.1.6), luego se reclasificaron nuevamente respetando las tablas de asignación de valores de CN (Tabla 3.2.2.1.7), obteniendo finalmente la relación cruzamiento espacial Vs. CN (Tabla 3.2.2.1.8).

**Tabla 3.2.2.1.6. Tabla de cruzamiento espacial entre vegetación y GHS**

Clase	Uso o Tipo y Cobertura vegetal	Grupo Hidrológico de Suelos (GHS)				
		B (3)	C (5)	D (7)		
<b>USO NO ANTROPIZADO</b>						
	Natural:	Cobertura	Reclas.			
0	<b>Impermeable:</b> Paisaje desértico con maleza rastrera leñosa		(43)	129	215	301
1	<b>Matorral:</b> Mezcla de matorral y maleza, siendo el matorral el prioritario	Baja	(9)	27	45	63
		Media	(11)	33	55	77
		Buena	(13)	39	65	91
2	<b>Herbácea:</b> mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento	Baja	(17)	51	85	119
		Media	(19)	57	95	133
		Buena	(23)	69	115	161
3-4	<b>Mata desértica:</b> incluyen plantas halófitas, crasas y con aceites especiales	Baja	(29)	87	145	203
		Media	(31)	93	155	217
		Buena	(37)	111	185	259

**Tabla 3.2.2.1.7. Asignación de CN según vegetación y GHS**

Clase	Uso o Tipo y Cobertura vegetal		Grupo Hidrológico de Suelos (GHS)			
			B	C	D	
			(3)	(5)	(7)	
<b>USO NO ANTROPIZADO</b>						
	Natural:	Cobertura	Reclas.			
0	<b>Impermeable:</b> Paisaje desértico con maleza rastrera leñosa		(43)	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
1	<b>Matorral:</b> Mezcla de matorral y maleza, siendo el matorral el prioritario	Baja	(9)	<b>67</b>	<b>77</b>	<b>83</b>
		Media	(11)	<b>56</b>	<b>70</b>	<b>77</b>
		Buena	(13)	<b>48</b>	<b>65</b>	<b>73</b>
2	<b>Herbácea:</b> mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento	Baja	(17)	<b>80</b>	<b>87</b>	<b>93</b>
		Media	(19)	<b>71</b>	<b>81</b>	<b>89</b>
		Buena	(23)	<b>62</b>	<b>74</b>	<b>85</b>
3-4	<b>Mata desértica:</b> incluyen plantas halófitas, crasas y con aceites especiales	Baja	(29)	<b>77</b>	<b>85</b>	<b>88</b>
		Media	(31)	<b>72</b>	<b>81</b>	<b>86</b>
		Buena	(37)	<b>68</b>	<b>79</b>	<b>84</b>

Fuentes: P.Fernández, (2007) en "Diseño Hidrológico" pp. 307-312

Ven Te Chow, (1994) en "Hidrología Aplicada" pp.150-155

**Tabla 3.2.2.1.8. Reclasificación final CN**

Cruzam. Espac.	Reclasif (CN)	Cruzam. Espac.	Reclasif (CN)
27	67	95	81
33	56	111	68
39	48	115	74
45	77	119	93
51	80	129	96
55	70	133	89
57	71	145	85
63	83	155	81
65	65	161	85
69	62	185	79
77	77	203	88
85	87	215	96
87	77	217	86
91	73	259	84
93	72	301	96

La distribución espacial del CN se puede apreciar en la Figura 3.2.2.1.5 y los resultados tabulares con el cálculo de la media areal en la Tabla 3.2.2.1.9.

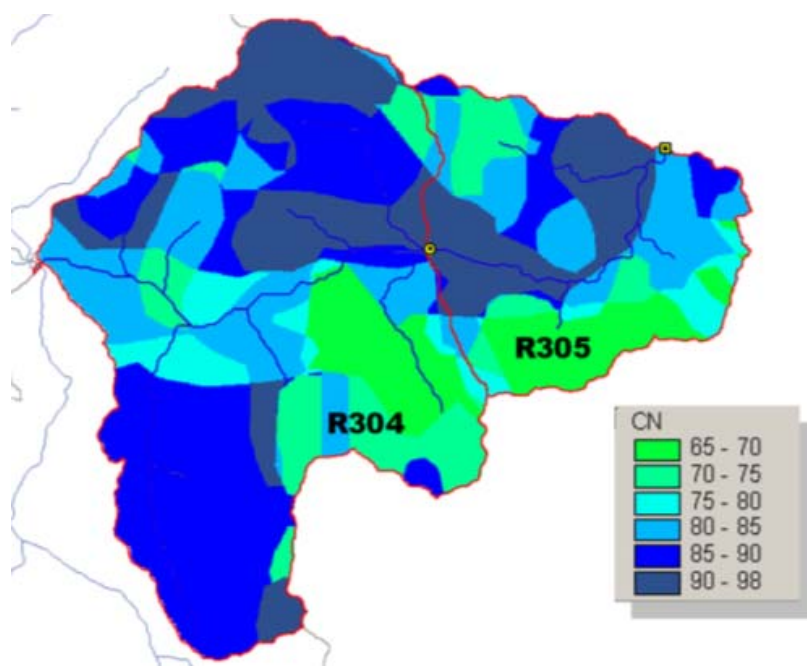


Figura 3.2.2.1.5. Mapa de CN distribuido

Tabla 3.2.2.1.9. Tabulación cruzada entre cuencas aluvionales y mapa de CN

CN	Áreas (ha) x CN	
	R304	R305
	Los Blancos	Los Tordillos
65	968	1541
70	1841	986
73	647	484
74	3043	1306
77	1952	863
81	1639	235
83	3086	1849
85	1320	1601
86	0	233
87	10733	189
88	0	128
89	1210	785
93	3792	4011
96	2737	0
<b>Suma (Ha)</b>	32966	14212
<b><math>\Sigma A_i.CN_i</math></b>	2772267	1166937
<b>CN</b>	84.1	82.1

Obtenido el mapa de CN en condición II, se obtuvo un valor  $CN_{slope}^{II}$  corregido en función de la pendiente.



Por medio de la derivada primera del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se obtuvo el mapa de pendientes expresado en porcentajes. Se clasificó en cinco zonas, la primera ubicada en las cotas altas con laderas de fuerte pendiente (mayores a 60%), la segunda clase ubicada en las cerrilladas con pendientes del 30 al 60%, la tercer zona con pendientes del orden de 5 a 30% predominante en los conos aluvionales, la cuarta clase con pendientes bajas de 0 a 5%.

La pendiente sirvió para modificar el CN en función de la siguiente ecuación:

$$CN_{slope}^{II} = \left[ \frac{CN^{III} - CN^{II}}{3} \cdot (1 - 2 \cdot e^{(-13.86 \cdot PEND)}) \right] + CN^{II}$$

Aplicada la ecuación exponencial en el SIG se obtuvo el mapa final del CN en condición II modificado por el mapa de pendientes, tal como se muestra en la Figura 3.2.2.1.6 y Tabla 3.2.2.1.10. En la Tabla 3.2.2.1.11 se puede apreciar la incidencia de la corrección.

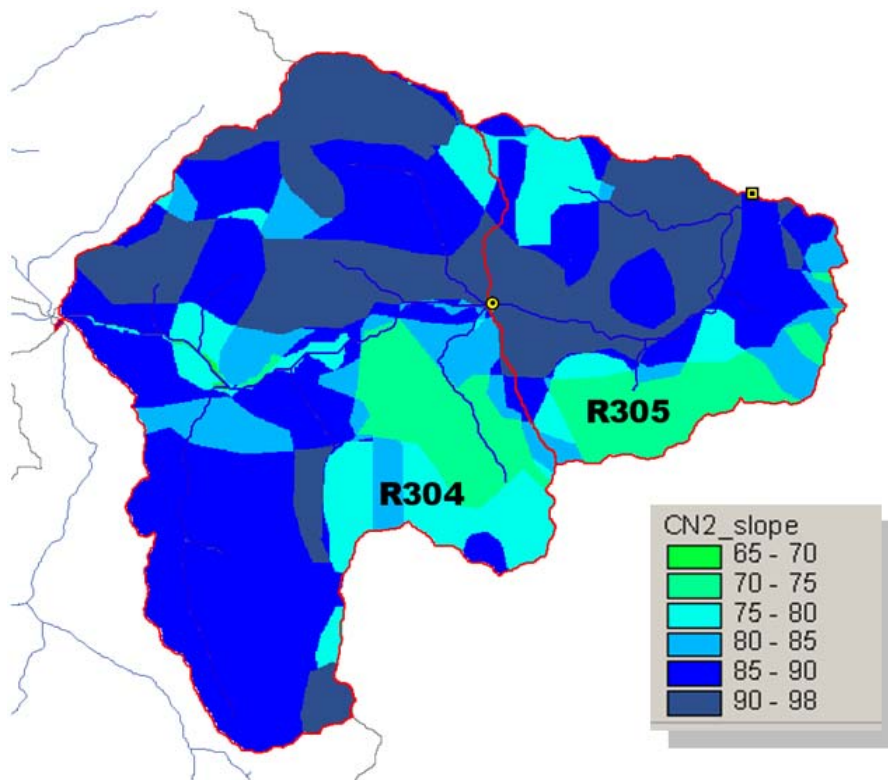


Figura 3.2.2.1.6. Mapa de CN distribuido modificado por pendiente



**Tabla 3.2.2.1.10. Tabulación cruzada entre cuencas aluvionales y Mapa de CNII\_slope (Áreas en Ha por CN) Cuencas Los Blancos y Tordillos**

CN	R304	R305
	Los Blancos	Los Tordillos
68	50	0
70	968	1540
73	61	0
74	1841	985
76	0	0
77	605	484
78	3038	1306
80	2153	864
81	1	0
82	0	0
83	0	0
84	1652	235
85	2824	1847
86	0	0
87	1320	1600
88	0	233
89	10655	189
90	1210	913
91	29	71
92	0	0
93	0	1
94	3762	3938
96	2736	0
<b>Suma (Ha)</b>	32903	14206
<b>ΣAi.CNi=</b>	2837335	1201099
<b>CN</b>	86.2	84.5

**Tabla 3.2.2.1.11. Diferencias entre CNII y CNII corregido por pendientes**

Cuenca	CN II	CN II slope	Dif	%
R304	84.1	86.2	2.1	2.5%
R305	82.1	84.5	2.4	2.9%

Debido a la escasa diferencia de esta corrección se decidió dejarla sin efecto para no agregar mayor incertidumbre a través de esa relación empírica.

### 3.2.3. Tormentas de proyecto

Se obtuvo la serie de lámina máxima anual en 24 h en base a la información pluviométrica de la estación Valle de Uco, el período analizado comprende desde el 01/01/1955 al 31/03/2008 con observaciones faltantes desde el 01/05/1986 al 31/05/1987. Los estadísticos de la serie obtenida se presentan en la Tabla 3.2.3.1.

**Tabla 3.2.3.1. Estadísticos y parámetros distribución EV1 serie valores pluviométricos máximos estación Valle de Uco**

Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Media (mm)	DS (mm)	CV
15.2	130	53.7	21.8	0.4

**DS: Desvío estándar**

**CV: Coeficiente de variación**

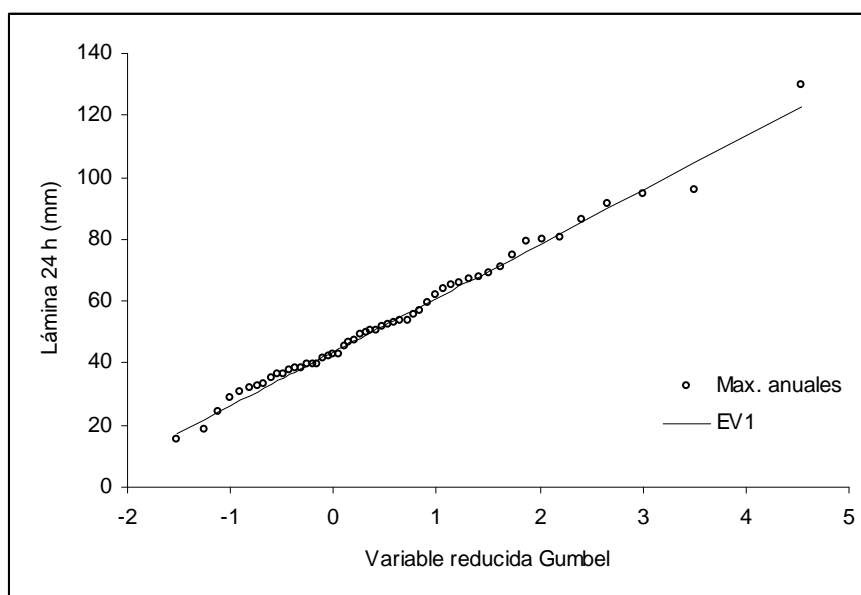
La distribución de Valores Extremos Tipo I o Gumbel (EV1) fue ajustada a la serie de máximos en 24 h y los parámetros,  $\xi = 43.690$  y  $\alpha = 17.333$ , fueron estimados con el método de momentos ponderados por probabilidad (Probability Weighted Moments, PWM) (Greenwood et al., 1979; Hosking, 1986). El ajuste se muestra en la Figura 3.2.3.1 y las estimaciones de lámina máxima en 24 h y sus períodos de retorno se presentan en la Tabla 3.2.3.2.

**Tabla 3.2.3.2. Relación lámina máxima 24 h-período de retorno estación Valle de Uco**

Período de retorno (años)	2	5	10	25	50	100	200
Lámina máxima 24 h (mm)	50	69.7	82.7	99.1	111.3	123.4	135.5

El análisis anterior permitió investigar la condición del valor máximo observado en el registro (130 mm) del 19 de febrero de 2002. La faja pluviográfica indica que su duración fue de 10 horas (desde las 19:00 del 18/02 a las 04:00 del 19/02), con un máximo horario de 50 mm (EVARSA) y de 78 mm en dos horas.

Según el ajuste de la distribución EV1 obtenido, este valor máximo en 24 h corresponde a un período de retorno de aproximadamente 146 años, indicando la condición excepcional de esa tormenta.



**Figura 3.2.3.1. Ajuste distribución EV1 lámina máxima en 24 h estación Valle de Uco**

A fin de determinar la tormenta de proyecto y dado que la información pluviográfica es escasa, se utilizó la información pluviométrica de la estación Valle de Uco para obtener una estimación de las relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) según las relaciones generalizadas de Bell (1969).

Estas relaciones permiten determinar la tormenta que se utilizará como entrada al modelo hidrológico a fin de obtener el hidrograma producido por precipitación.

Para regiones con lluvias intensas donde no existen registros de precipitaciones de corta duración Bell propone emplear una fórmula empírica derivada por Hershfield y Wilson (Bell, 1969) que utiliza información pluviométrica, para estimar la lámina de recurrencia 2 años y duración 1 h ( $P_2^{60}$ ) que es el valor base de la relación generalizada:

$$P_T^d = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 d^{0.25} - 0.5) P_2^{60} \quad \text{para} \begin{cases} 5 \leq d \leq 120 \text{ min} \\ 2 \leq T \leq 100 \text{ años} \end{cases} \quad (3.2.3.1)$$

La fórmula empírica de Hershfield y Wilson utilizada para estimar  $P_2^{60}$ , en pulgadas, es:

$$P_2^{60} = 0.17 M N^{0.33} \quad \text{para} \begin{cases} 0 < M \leq 2 \\ 1 < N \leq 80 \end{cases} \quad (3.2.3.2)$$

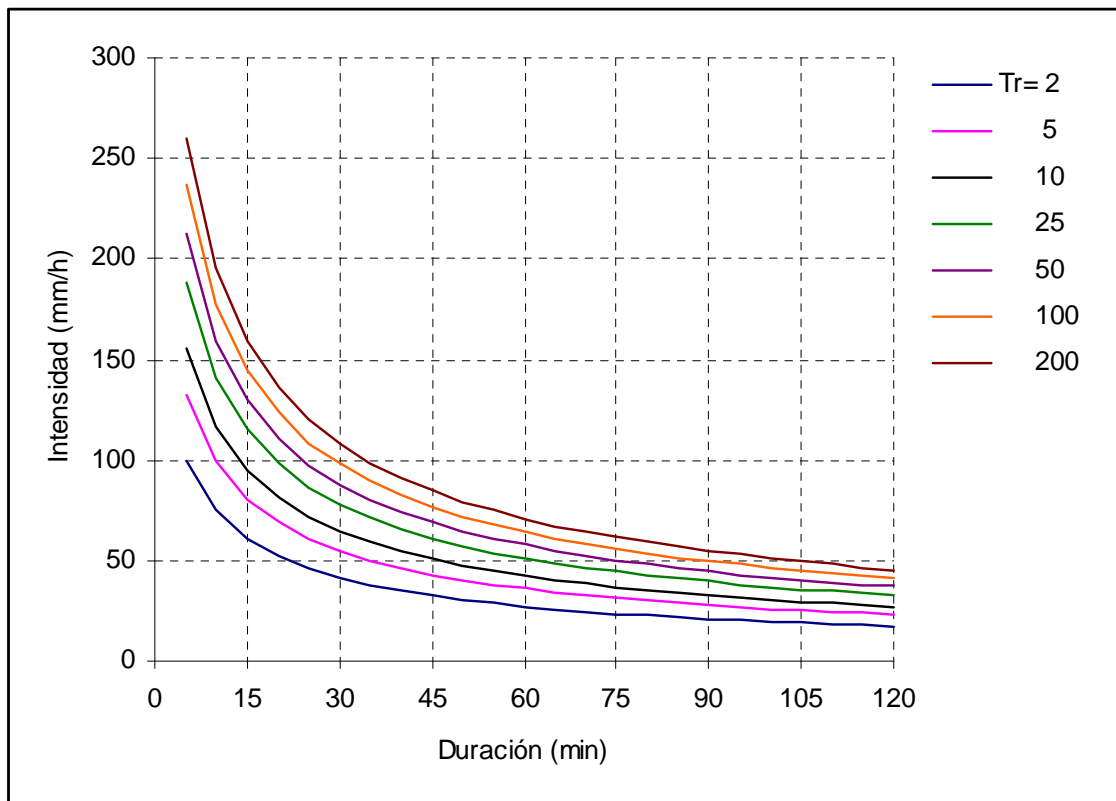
donde  $M$  es la media de las precipitaciones diarias máximas anuales en pulgadas y  $N$  la media del número de días con tormentas convectivas en el año.

Los valores obtenidos de  $M$ ,  $N$  y  $P_2^{60}$  para la estación Valle de Uco se presentan en la Tabla 3.2.3.3.

**Tabla 3.2.3.3. Parámetros relación generalizada de Bell**

$M$ (mm)	$M$ (in)	$N$	$P_2^{60}$ (in)	$P_2^{60}$ (mm)
53.7	2.114	26.8	1.064	27.0

Las relaciones IDF estimadas mediante la ecuación (3.2.3.1) se grafican en la Figura 3.2.3.2.



**Figura 3.2.3.2. Curvas IDF obtenidas con relaciones generalizadas de Bell para datos pluviométricos en Valle de Uco**

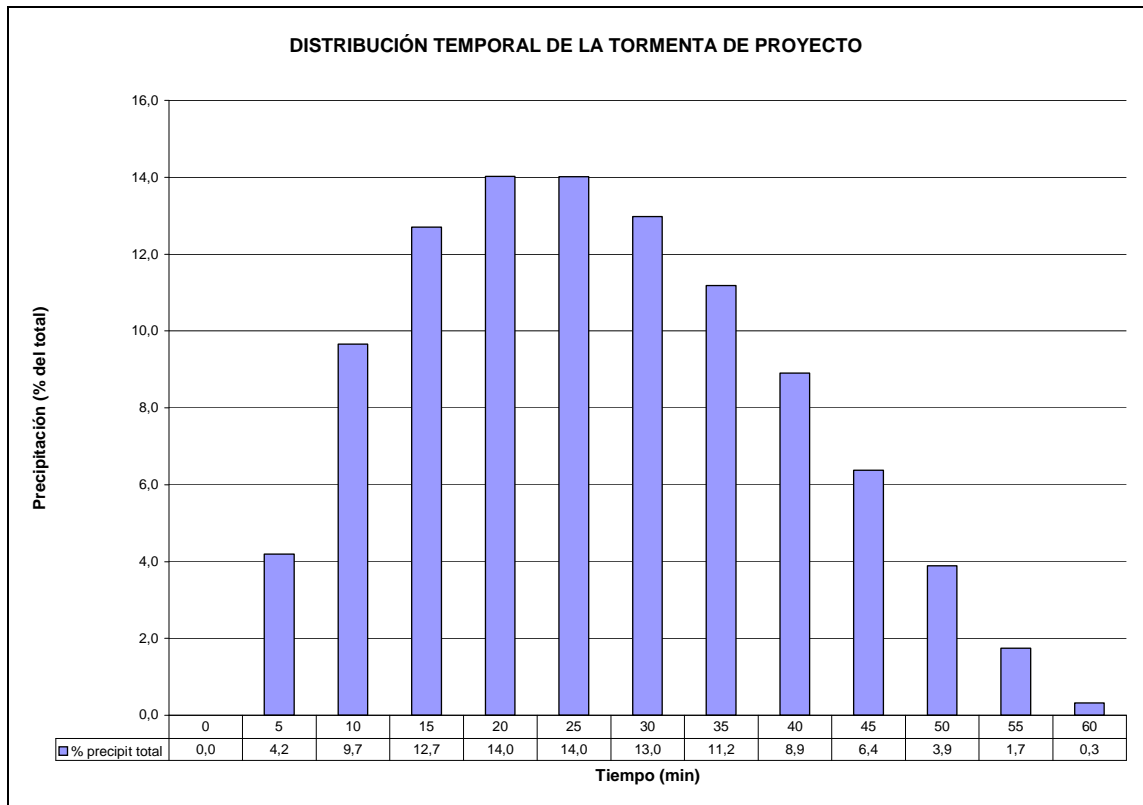
Las relaciones anteriores determinan, para una duración de 60 min, un valor de precipitación de 64.3 mm para el período de retorno de 100 años tal cual se estipula en la sección 3.: *“la Crecida Máxima Probable (CMP) con fusión nival como efecto dominante es especificada como una acumulación nival maximizada seguida por una secuencia extrema de temperatura y una lluvia de recurrencia 100 años...”*

La distribución temporal utilizada es la determinada en el estudio de “Actualización de las Curvas IDF para el Pedemonte del Gran Mendoza” (INA-CRA, 2008) (Figura 3.2.3.3)

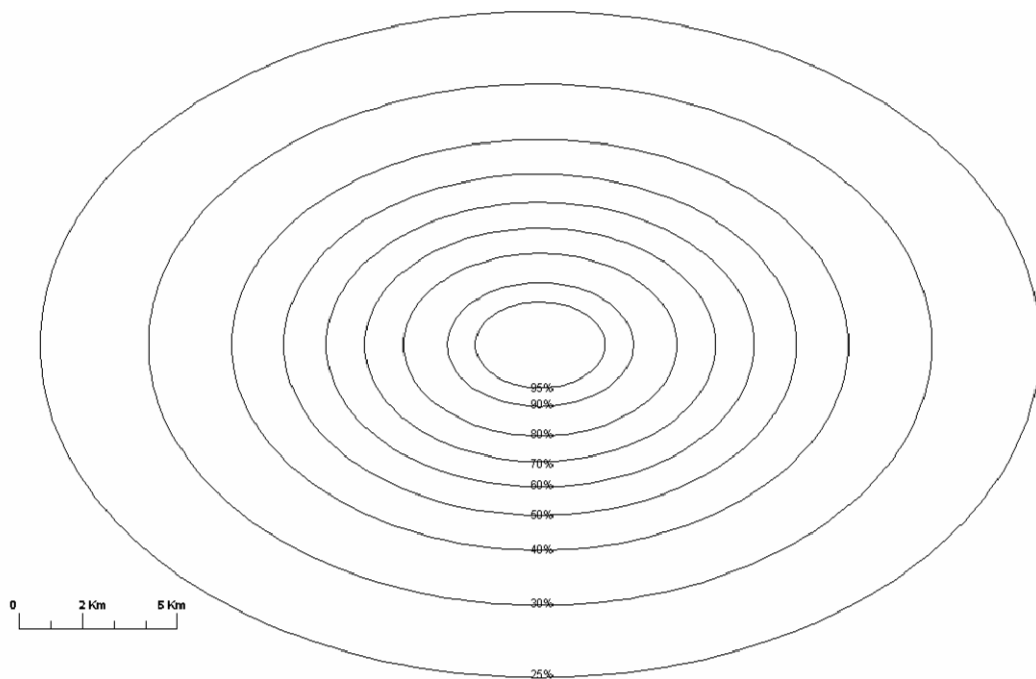
A efectos de conformar las tormentas de proyecto, se diseñó una plantilla de isohietas (Figura 3.2.3.4) a partir de un conjunto de elipses concéntricas con relación a/b=1.5, cuyas áreas responden a la curva de decaimiento espacial de “Actualización de las Curvas IDF para el Pedemonte del Gran Mendoza” (INA-CRA, 2008) (Tabla 3.2.3.4 y Figura 3.2.3.5).

$$\% \text{ Lluvia puntual} = 1 - 0.7632 \left( 1 - e^{-0.00769 A} \right)$$

A= Área (km<sup>2</sup>)



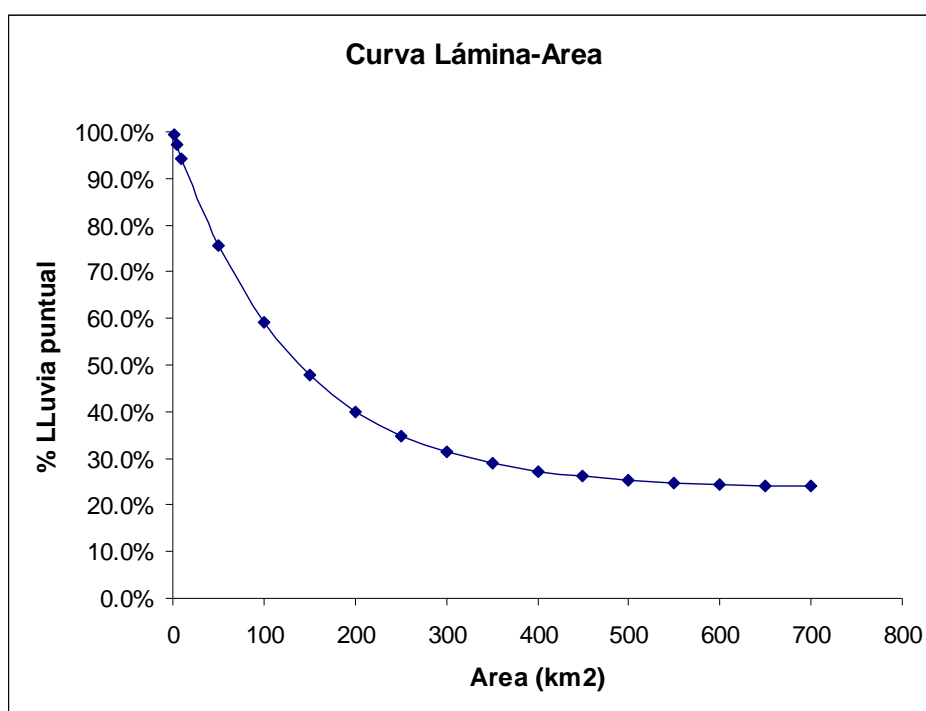
**Figura 3.2.3.3 Hietograma medio. Duración 1 hora**



**Figura 3.2.3.4. Plantilla de isohietas de la Tormenta de proyecto**

**Tabla 3.2.3.4. Decaimiento espacial de la tormenta**

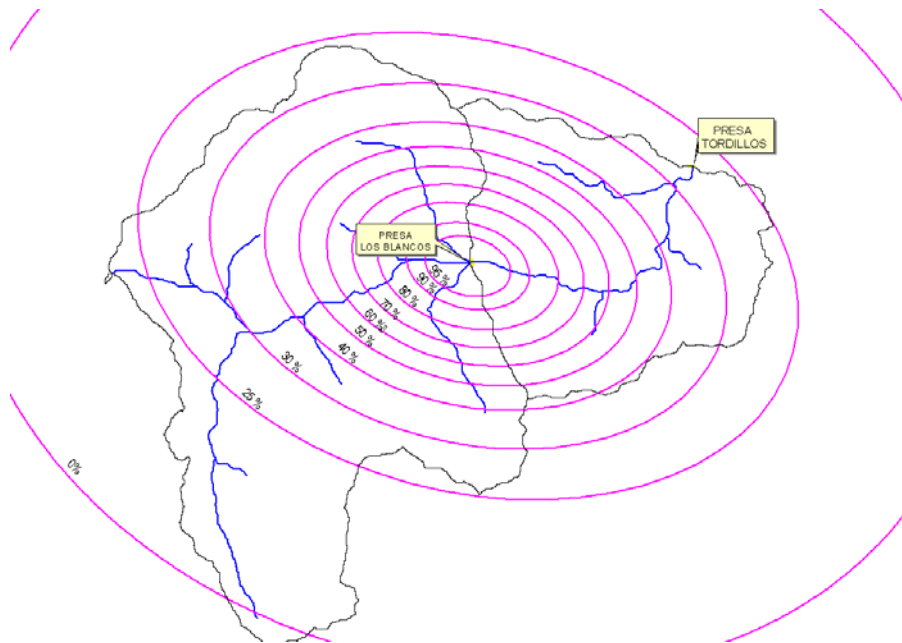
Porcentaje	Area	Diám. Mayor	Diám. Menor
[%]	[km <sup>2</sup> ]	[km]	[km]
95%	8.82	4.10	2.74
90%	18.26	5.90	3.94
80%	39.51	8.69	5.79
70%	64.95	11.14	7.43
60%	96.55	13.58	9.05
50%	138.45	16.26	10.84
40%	200.60	19.57	13.05
30%	324.00	24.88	16.58
25%	528.00	31.76	21.17



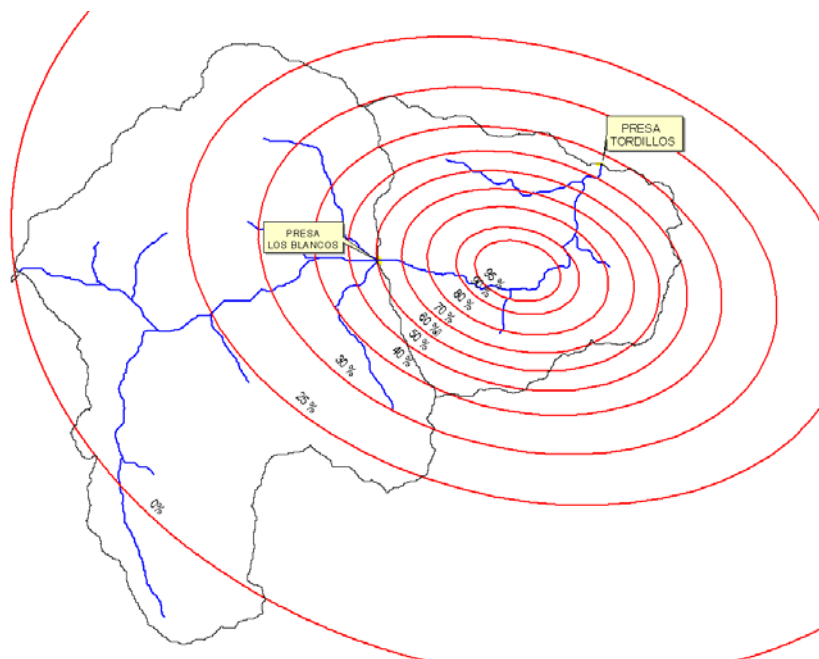
**Figura 3.2.3.5. Decaimiento espacial de la tormenta**

Para la determinación de las láminas medias por cuenca se seleccionaron tres posiciones críticas:

- Escenario I (Figura 3.2.3.6), el núcleo de tormenta se ubica sobre la Presa Los Blancos
- Escenario II (Figura 3.2.3.7), el núcleo se ubica en el centro de la cuenca R305
- Escenario III (Figura 3.2.3.8), el núcleo de la tormenta se ubica en el centro de la cuenca R304.



**Figura 3.2.3.6. Plantilla de isohieta centrada en presa Los Blancos. Escenario I**



**Figura 3.2.3.7. Plantilla de isohieta centrada en la cuenca R305. Escenario II**



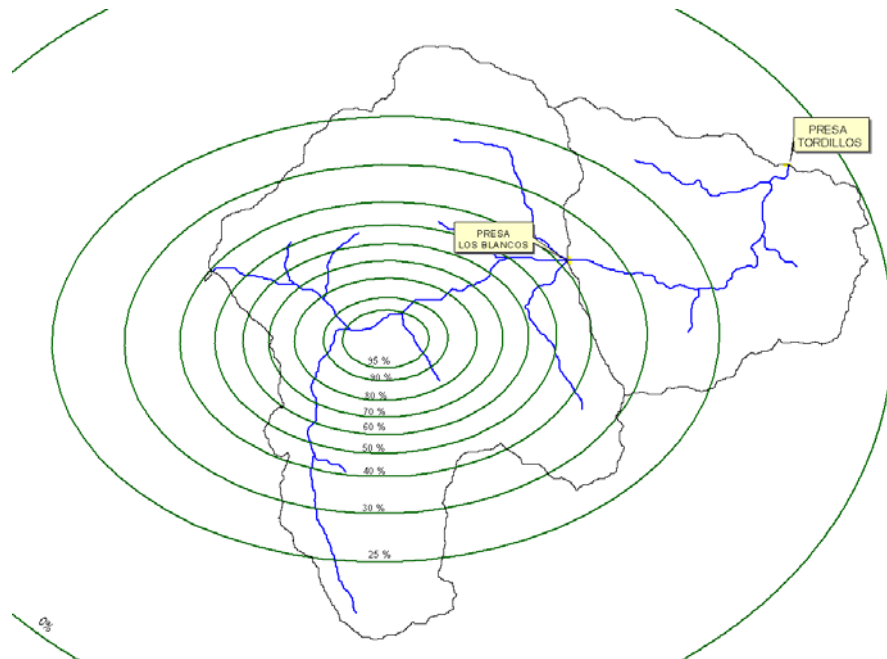


Figura 3.2.3.8. Plantilla de isohieta centrada la cuenca R304. Escenario III

En la Tabla 3.2.3.5 se detallan las láminas de precipitación media para cada uno de los escenarios y cuencas y se resaltan las láminas medias más críticas de cada escenario. Así para la cuenca R304 el núcleo más desfavorable es en el escenario III, mientras que para la cuenca R305 es en el escenario II.

Tabla 3.2.3.5. Láminas medias porcentuales según posición del núcleo de la plantilla de isohietas

Cuencas	Lámina media (%)		
	Escenario I	Escenario II	Escenario III
LOS BLANCOS (R304)	37.4	22.4	<b>46.9</b>
LOS TORDILLOS (R305)	50.6	<b>67.5</b>	20.5
R304+R305	<b>41.4</b>	36.9	39.0

### 3.2.4. Aplicación de ARHYMO

Con el objetivo de encontrar el escenario de distribución espacial de la tormenta de proyecto más desfavorable, y mediante un proceso iterativo con la aplicación del modelo ARHYMO, se pudo seleccionar, para el caso de la crecida de diseño en la presa Los Blancos, el escenario III, y en el caso de Los Tordillos, el escenario I.

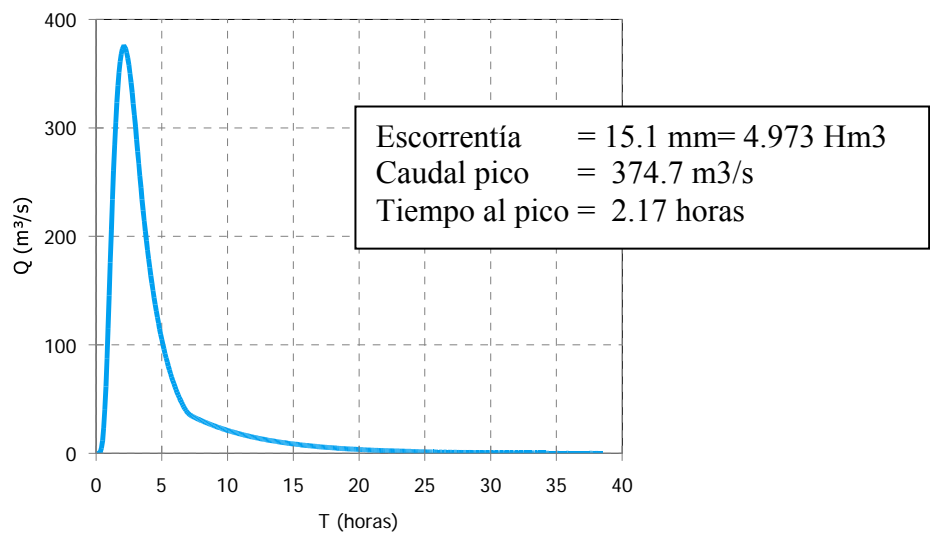
Se consideró que la condición de humedad del suelo es tal que se encuentra saturado (CN en condición III) debido a la reciente fusión nival (Tabla 3.2.4.1). La transformación de condición II a III se realizó con el siguiente algoritmo:

$$CN^{III} = \frac{CN^{II}}{(0.427 + 0.00573 \cdot CN^{II})}$$

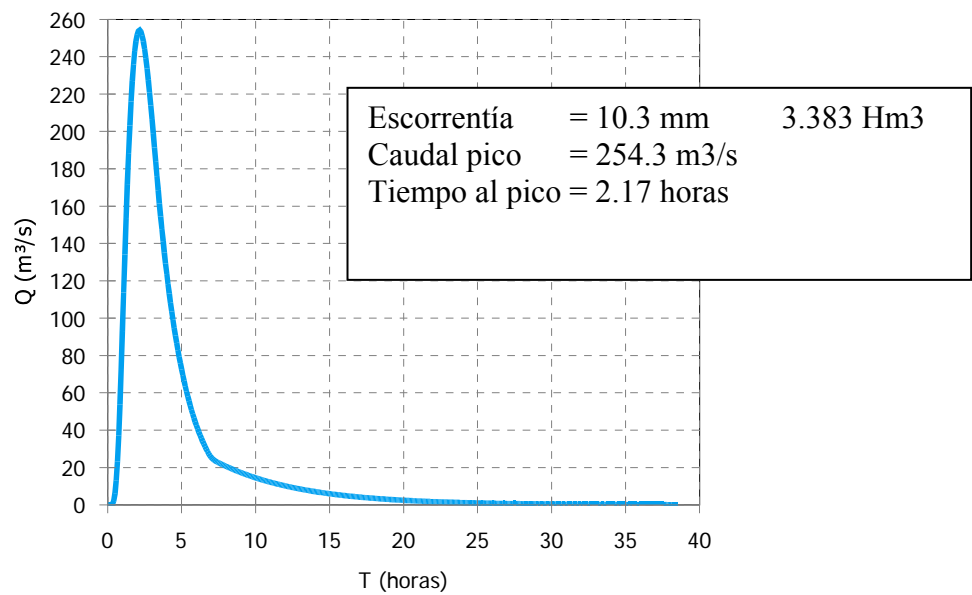
**Tabla 3.2.4.1. Comparación de CN en condición II y III**

Cuenca	CN II	CN III
R304	84.1	92.5
R305	82.1	91.5

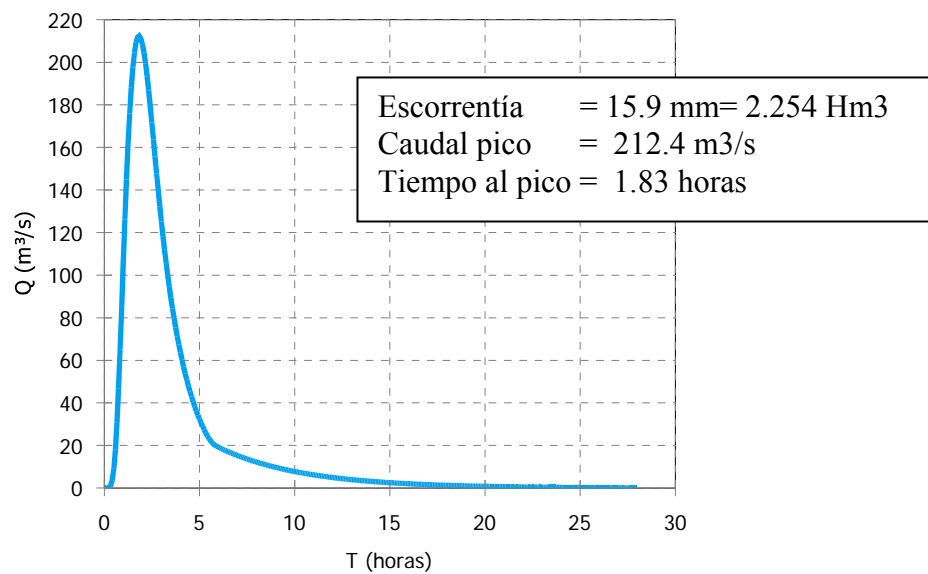
Con la información explicitada en las secciones 3.2.2 a 3.2.3 se aplicó ARHYMO a las cuencas de aporte ubicadas aguas arriba del Embalse Los Blancos y del Embalse Los Tordillos. Los hidrogramas de las crecidas pluviales resultantes se pueden visualizar en las figuras 3.2.4.1, 3.2.4.2 y 3.2.4.3.



**Figura 3.2.4.1. Hidrograma de la Crecida Pluvial aguas arriba del Embalse Los Blancos con escenario III**



**Figura 3.2.4.2. Hidrograma de la Crecida Pluvial aguas arriba del Embalse Los Blancos con escenario I**



**Figura 3.2.4.3. Hidrograma de la Crecida Pluvial aguas arriba del Embalse Los Tordillos con escenario I**

### 3.3. CONFORMACIÓN DE LAS CRECIDAS DE DISEÑO

Considerando la crecida de origen nival desarrollada en la sección 3.1.3.4 y las crecidas pluviales explicitadas en 3.2.4, se realizó la conformación de las crecidas de diseño para los aliviaderos de las presas Los Blancos y Los Tordillos.

La condición generadora de las crecidas de diseño se puede describir como: el 21/12, en coincidencia con el caudal máximo medio diario de la crecida por fusión nival ( $1007 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se produce una tormenta convectiva que:

- en su núcleo precipita  $64.3 \text{ mm}$  en  $1 \text{ hr}$  ( $\text{TR} = 100$  años)
- su distribución espacial abarca cuencas de aporte que afectan a ambos embalses
- genera crecidas cuyos hidrogramas se superponen con el caudal máximo medio diario de la crecida por fusión nival.

### 3.3.1. Aliviadero de Los Blancos

En el caso del embalse Los Blancos la crecida en su intervalo correspondiente al caudal máximo se puede visualizar en la Figura 3.3.1.1. Este hidrograma resulta de la suma directa del caudal máximo de la crecida por fusión nival  $1007 \text{ m}^3/\text{s}$  y el hidrograma de la Figura 3.2.4.1.

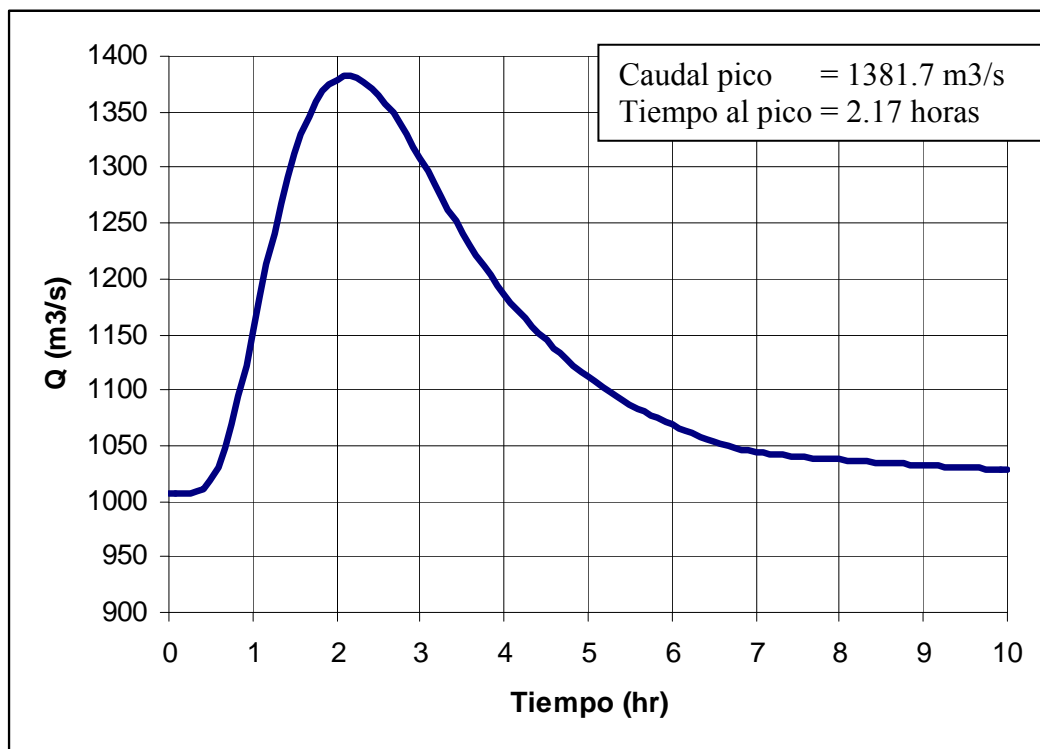


Figura 3.3.1.1. Crecida de diseño del aliviadero de Los Blancos

### 3.3.2. Aliviadero de Los Tordillos

En el caso del Embalse Los Tordillos se asume que:

- con el escenario I de distribución espacial de la tormenta se produce en el ingreso al Embalse Los Blancos una crecida con un máximo de  $1261.3 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $1007 \text{ m}^3/\text{s} + 254.3 \text{ m}^3/\text{s}$  según Figura 3.2.4.2.)
- la crecida en el Embalse Los Blancos pasa por su aliviadero sin laminación. Es importante señalar que dado el pequeño volumen de embalse, tanto de Los Blancos

(59.2 hm<sup>3</sup>) como de Los Tordillos (1.45 hm<sup>3</sup>), es imposible realizar algún tipo de laminación. A modo de ejemplo, se puede comentar que la crecida de 2001-02, con un caudal máximo instantáneo de 296.65 m<sup>3</sup>/s, hubiera llenado el embalse Los Blancos en solo 8 días.

- tal crecida llega al embalse Los Tordillos, transitando por el cauce del Río Tunuyán un trayecto de 17.08 km con pendiente de 2.1%, en un lapso de 36 minutos, calculado en base a una velocidad de 7.9 m/s del caudal máximo (1261.3 m<sup>3</sup>/s)
- la crecida resultante es la suma de ese hidrograma transitado más el hidrograma de la crecida pluvial (Figura 3.2.4.3) de las cuencas aportantes al embalse Los Tordillos

En la Figura 3.3.2.1 se puede apreciar el esquema topológico planteado en el modelo ARHYMO, donde:

- RBCO: hidrograma generado por las cuencas aportantes al Embalse Los Blancos
- H001: caudal máximo medio diario de la crecida por fusión nival
- N008: hidrograma de la crecida de diseño en el Embalse Los Blancos
- T353: tránsito rígido por el cauce del Río Tunuyán
- TORD: hidrograma generado por las cuencas aportantes al Embalse Los Tordillos
- N009: hidrograma de la crecida de diseño en el Embalse Los Tordillos
- T351, T352, T354: conectores para sumar hidrogramas

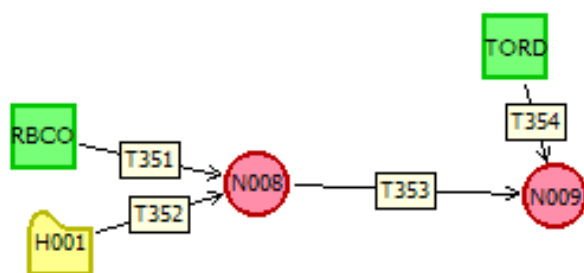


Figura 3.3.2.1. Esquema topológico en ARHYMO para la crecida en el Embalse Los Tordillos

En la Figura 3.3.2.2 se aprecia el hidrograma de la crecida de diseño para Los Tordillos.

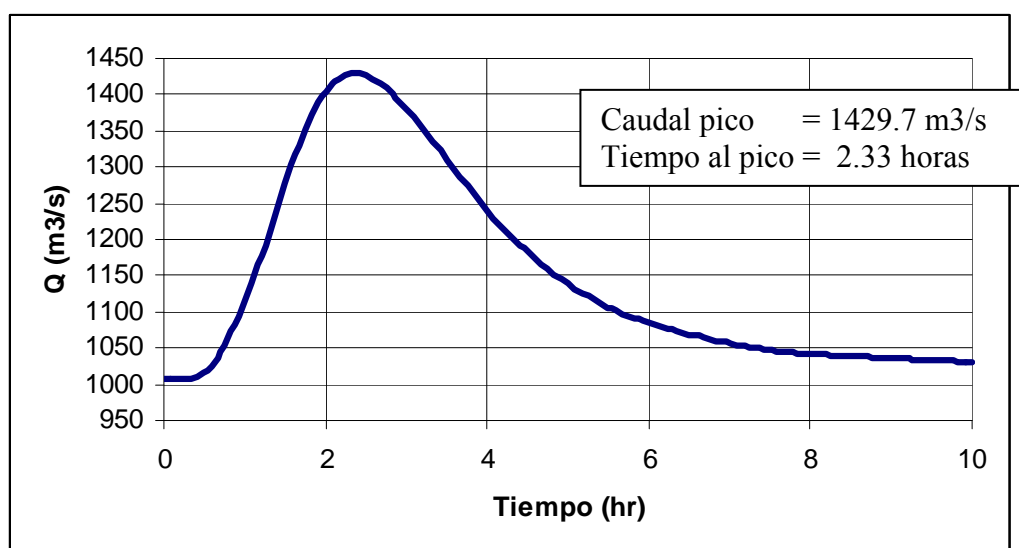


Figura 3.3.2.2. Crecida de diseño del aliviadero de Los Tordillos

En la Figura 3.3.2.3 se visualizan ambas crecidas de diseño y se puede apreciar la diferencia en magnitud entre caudales máximos.

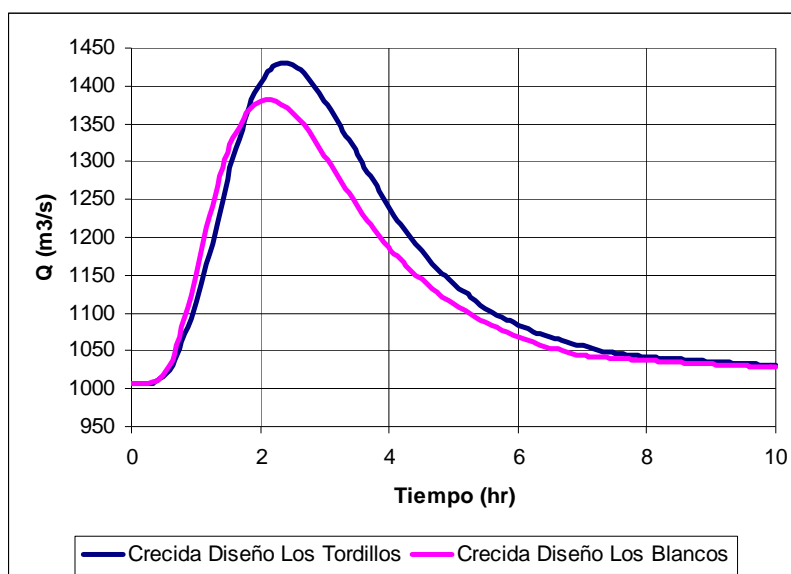


Figura 3.3.2.3. Crecidas de diseño para los aliviaderos de las presas Los Blancos y Los Tordillos

## 4. COMPROBACIONES Y COMPARACIONES

Las estimaciones de la Crecida Máxima Probable (CMP) como también de crecidas de base probabilística de grandes períodos de retorno están generalmente sujetas a considerables incertidumbres y dependen en gran medida de las suposiciones asumidas y del criterio ingenieril utilizado. En consecuencia es importante que a tales estimaciones se les realicen algunas comparaciones y comprobaciones empíricas, con el objeto de verificar que tengan un cierto grado de razonabilidad y que puedan llegar a ser compatibles con las estimaciones de otros proyectos (Alberta Transportation, 2004).

Es importante aclarar que las comparaciones con estimaciones de crecidas extremas de otros proyectos deben tratarse con cautela, ya que en el pasado se han utilizado una gran variedad de procedimientos que actualmente no son consistentes con las recomendaciones o normas vigentes (ej. estudios de AyEE de 1974 y de 1986).

A continuación, se realizan un análisis de frecuencia a modo de comprobación y una comparación con caudales máximos referidos a áreas de cuencas.

### 4.1. ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Se realiza la estimación de la crecida de diseño mediante análisis estadístico a efectos de tener una comprobación con el método determinístico.

#### 4.1.1. Crecidas históricas

La información suministrada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH) y la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC) se analizó a fin de investigar la existencia de crecidas importantes que hayan afectado a varias cuencas de la región.

En la Figura 4.1.1.1 se presentan las series de caudales máximos medios mensuales en las estaciones Km 47.3 (río San Juan), Cacheuta (río Mendoza), Valle de Uco (río Tunuyán) y Paso de los Indios (río Neuquén) y se señalan las crecidas más importantes registradas en el período 1909-2003. Dado que el año hidrológico en el río Neuquén es diferente a los ríos cuyanos, los valores graficados para la estación Paso de los Indios corresponden a los máximos caudales medios de los meses diciembre y enero.

Se puede observar, en la Figura 4.1.1.1, que los valores correspondientes a los años 1914, 1919, 1934 y 1941 se encuentran entre los máximos observados durante el período analizado. Esta información también es consistente con el estudio de Prieto et al. (1999) que, en base a series observadas, crónicas periodísticas e información documental, mencionan que en esos años hubieron importantes crecidas en coincidencia con la ocurrencia de la fase de El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

Por este motivo, y dado que los registros de la estación Valle de Uco comienzan en el año 1954, se decidió considerar estas crecidas en el análisis de valores extremos. Las estimaciones de los valores máximos medios diarios y máximos instantáneos para las crecidas mencionadas fueron obtenidas mediante modelos de regresión.

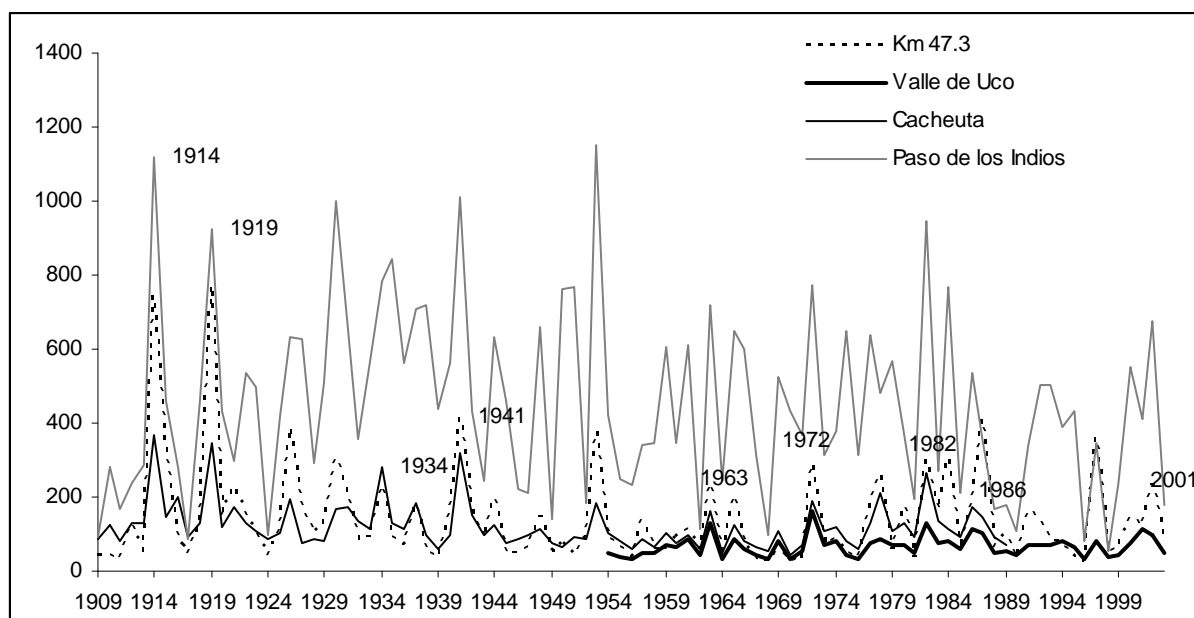
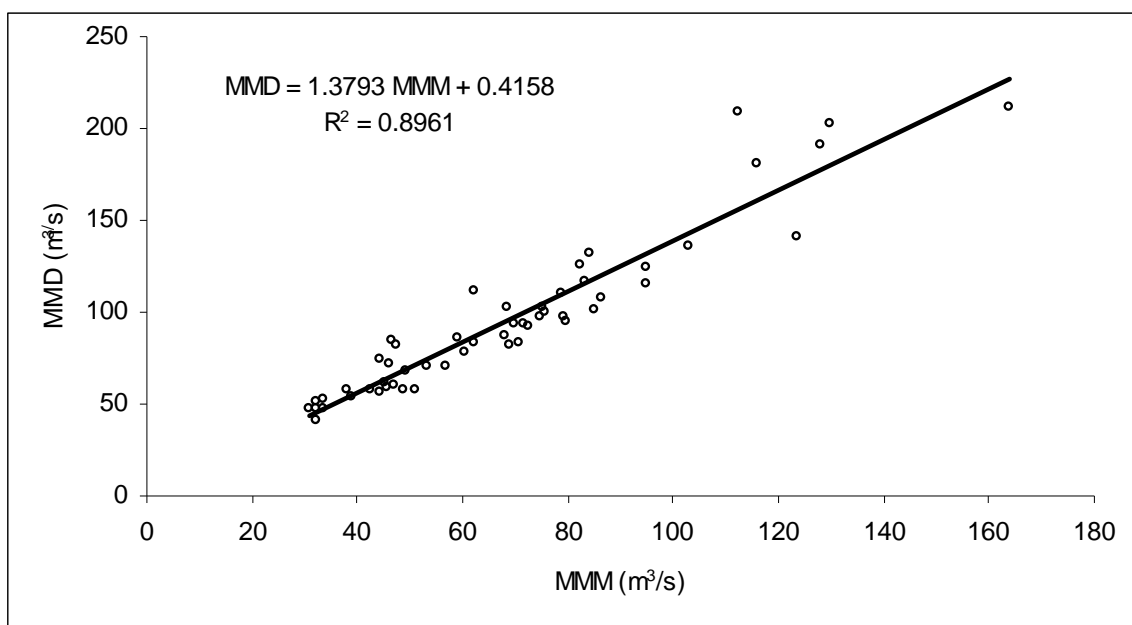


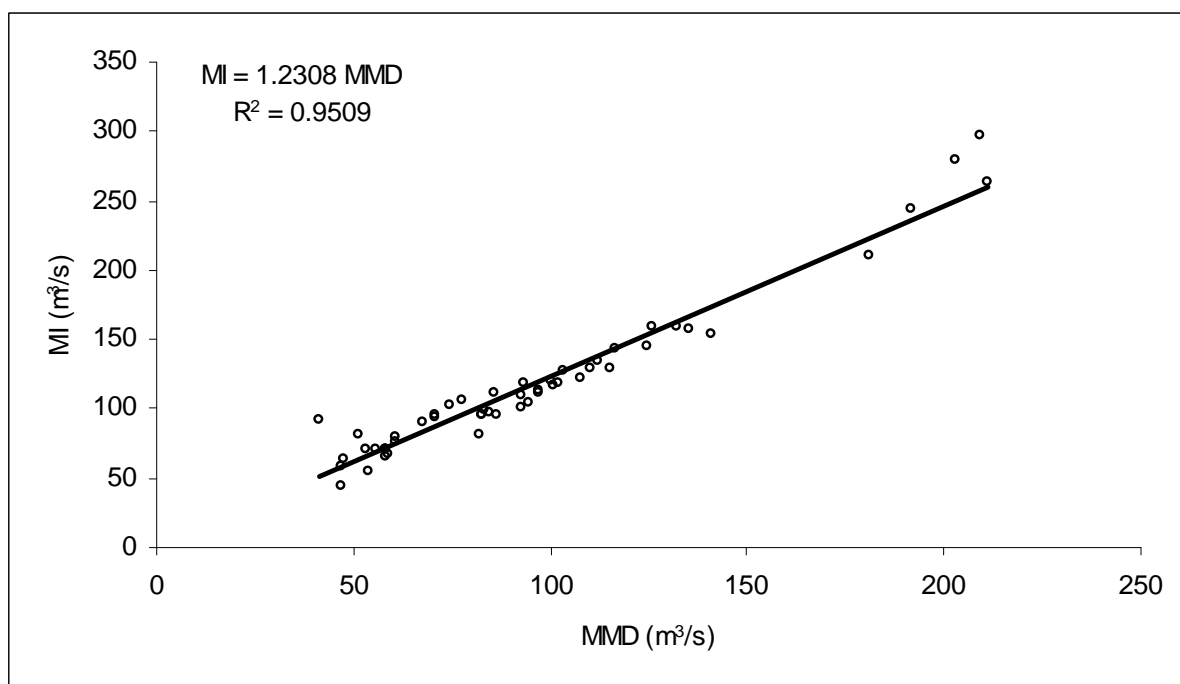
Figura 4.1.1.1. Series caudales máximos medios mensuales 1909-2003

Se presenta en la Figura 4.1.1.2 el ajuste obtenido con el modelo que relaciona los caudales máximos medios mensuales con los máximos medios diarios en la estación Valle de Uco y en la Figura 4.1.1.3 el ajuste del modelo que relaciona los máximos medios diarios con los máximos instantáneos, para el período 1954-2006.



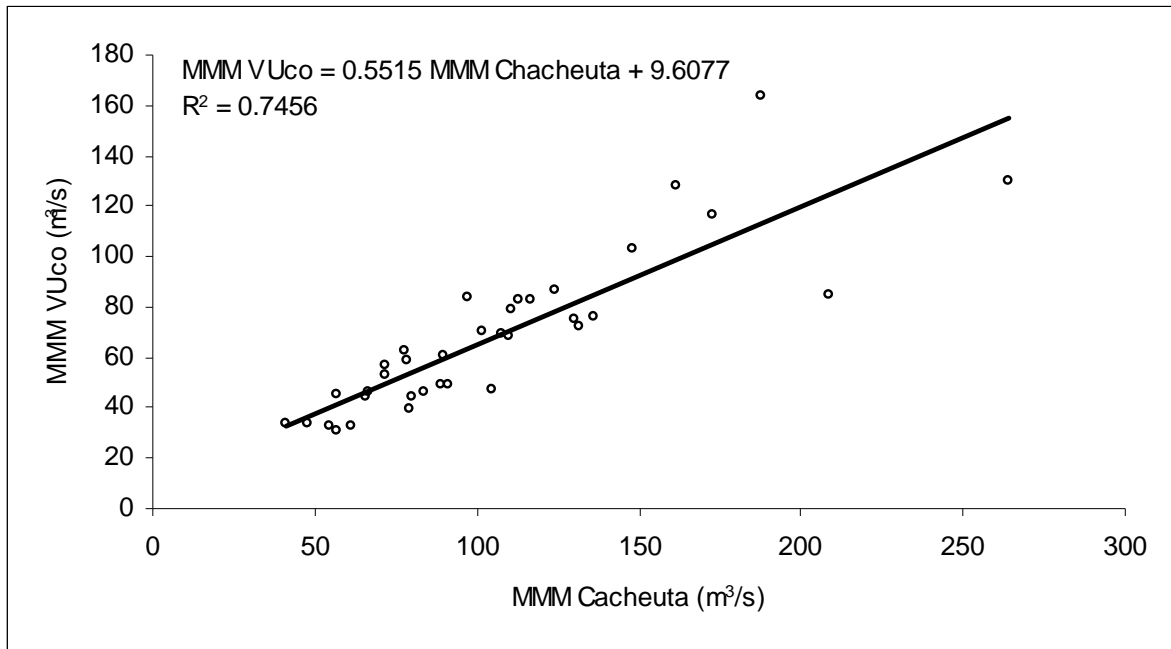


**Figura 4.1.1.2. Modelo regresión lineal caudales máximos medios mensuales (MMM) y máximos medios diarios (MMD) en la estación Valle de Uco**



**Figura 4.1.1.3. Modelo regresión lineal caudales máximos medios diarios (MMD) y máximos instantáneos (MI) en la estación Valle de Uco**

Varios modelos de regresión lineal fueron considerados para estimar los valores de caudales máximos medios mensuales en la estación Valle de Uco y el que presentó mejor ajuste fue el que considera como variable independiente los caudales máximos medios mensuales de la estación Cacheuta. Los resultados de este ajuste, para el período 1954-1989, se presentan en la Figura 4.1.1.4.



**Figura 4.1.1.4. Modelo regresión lineal caudales máximos medios mensuales (MMM) estación Cacheuta y Valle de Uco**

Las estimaciones de los valores máximos medios diarios y máximos instantáneos para las crecidas correspondientes a los años 1914, 1919, 1934 y 1941 se presentan en la Tabla 4.1.1.1.

**Tabla 4.1.1.1. Valores estimados de caudales en Valle de Uco**

Año	Caudales Valle de Uco (m³/s)		
	MMM (1)	MMD (2)	MI(3)
1914	213.77	295.27	363.42
1919	200.21	276.57	340.40
1934	164.74	227.64	280.18
1941	185.98	256.94	316.24

MMM: Máximo medio mensual  
MMD: Máximo medio diario  
MI: Máximo instantáneo

#### 4.1.2. Análisis de frecuencias de valores extremos

Una herramienta útil para el diseño de obras civiles es el análisis de frecuencia de crecientes. Este método estadístico permite estimar cuan frecuentemente un evento hidrológico extremo ocurre.

La relación entre los caudales extremos máximos y su ocurrencia puede ser estimada mediante el método clásico, es decir utilizando solo los registros de la estación de interés, o mediante un método regional que emplea las observaciones de un conjunto de estaciones cercanas o de una región homogénea.

Como el análisis de frecuencias plantea, generalmente, extrapolaciones debido a que las estaciones de medición poseen registros durante un número de años menor que los requeridos para el diseño, en este estudio se aplican los dos métodos y se comparan las estimaciones obtenidas.

La aplicación del análisis de frecuencias clásico se realizó considerando a las observaciones de la estación Valle de Uco como población mezcla.

#### ***4.1.2.1. Modelo población mezcla estación Valle de Uco***

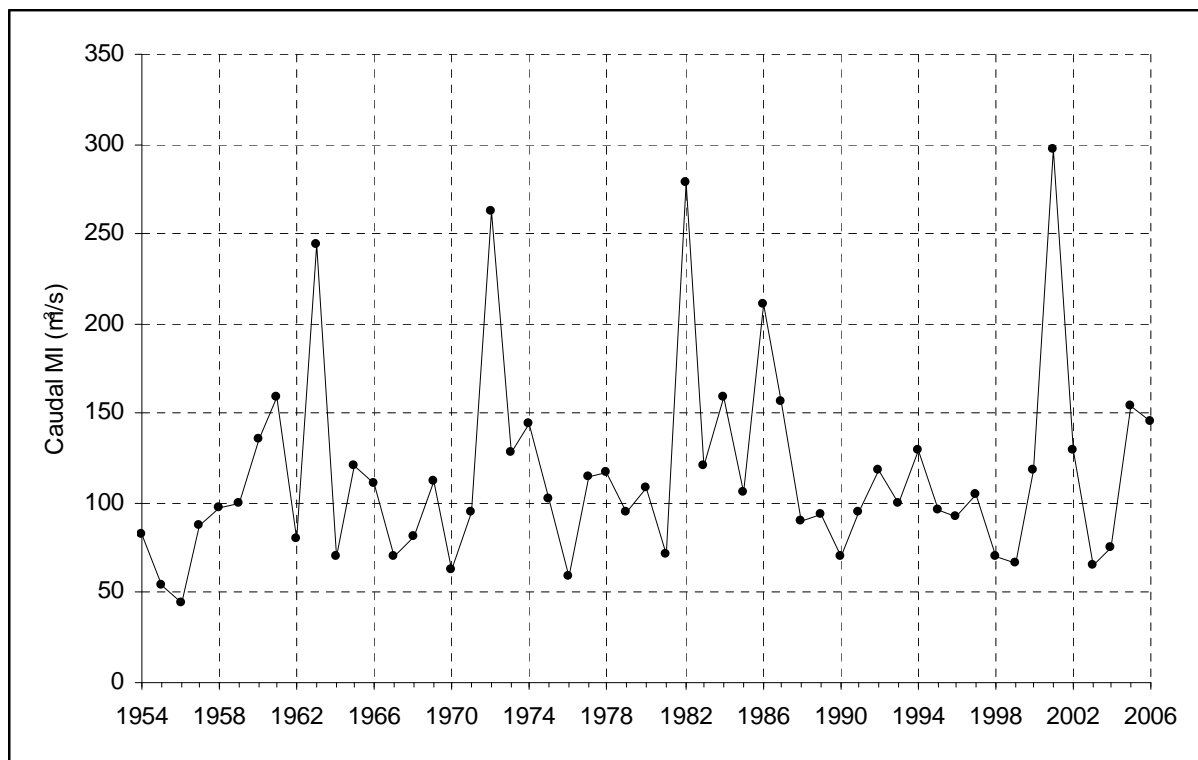
Las series de caudales máximos medios diarios e instantáneos en la estación Valle de Uco (Figura 4.1.2.1.1) presentan una alta variabilidad interanual.

El fenómeno ENOS constituye una de las mayores causas de variación climática interanual a escala global. El ENOS generalmente se caracteriza por un calentamiento local en el Pacífico oriental, un desplazamiento de las precipitaciones desde el Pacífico occidental hacia el oriental, un debilitamiento de los vientos alisios y variaciones del nivel del mar.

La intensidad del ENOS está cuantificada por diferentes indicadores, por ejemplo, el índice de la Oscilación del Sur (SOI) (diferencia de presión atmosférica entre Darwin, Australia y Tahiti) y las anomalías en la temperatura superficial oceánica dadas por los índices Niño 1-2, Niño 3 y Niño 4.

Caviedes y Waylen (1998) han analizado precipitaciones anuales en estaciones típicas de América del Sur y determinan que precediendo a veranos australes con fase cálida del ENOS las precipitaciones invernales son más abundantes en Chile Central y en la cordillera de los Andes en esa latitud. Por lo tanto la acumulación nival en esas cuencas Cordilleranas tiende a ser mayor en esta fase, aumentando la probabilidad de obtener caudales por fusión mayores.

Pellicciotti et al. (2007) mencionan que los análisis de regresión revelan una fuerte influencia del ENOS sobre el escurrimiento y las precipitaciones en la cuenca del río Aconcagua, Chile y Cerveny et al. (1987) expresan que los períodos de extensa cobertura nival en Sudamérica están asociados a valores bajos del SOI, es decir fase cálida del ENOS.



**Figura 4.1.2.1.1. Serie de caudales máximos instantáneos estación Valle de Uco**

Con el propósito de considerar la relación del ENOS con los caudales máximos instantáneos de la estación Valle de Uco, se decidió modelarlos como provenientes de dos poblaciones, los que ocurren en años Niño y no-Niño.

La categorización de los años **con fase cálida del ENOS** se realizó analizando y comparando los estudios de Prieto et al. (1999); Severov et al. (2004) y Tapley y Waylen (1990) y las clasificaciones presentadas en las páginas de Internet referenciadas en la sección 6.

En la Tabla 4.1.2.1.1 se presenta la categorización final obtenida, de la que resultan 19 caudales máximos instantáneos pertenecientes a la fase cálida, eventos Niño, y 38 eventos no-Niño. Los valores en *itálica* de la Tabla 4.1.2.1.1 son extrapolados según el procedimiento detallado en la sección 2 y los valores resaltados corresponden a las nueve crecidas mayores, mostrando que siete de éstos coinciden con eventos Niño.

**Tabla 4.1.2.1.1. Caudales máximos instantáneos asociados con la ocurrencia de eventos Niño y no-Niño**

Niño		no-Niño			
Año hidrológico	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Año hidrológico	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Año hidrológico	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
<b>1914-15</b>	<b>363.42</b>	<b>1934-35</b>	<b>280.18</b>	1978-79	117.00
<b>1919-20</b>	<b>340.40</b>	1954-55	82.00	1979-80	95.00
<b>1941-42</b>	<b>316.24</b>	1955-56	54.00	1980-81	109.00
1957-58	87.63	1956-57	44.80	1981-82	71.50
<b>1963-64</b>	<b>244.00</b>	1958-59	97.10	1983-84	121.00
1965-66	121.10	1959-60	100.00	1984-85	159.50
1969-70	111.90	1960-61	135.00	1985-86	105.50
<b>1972-73</b>	<b>263.00</b>	1961-62	158.60	1988-89	89.59
1977-78	114.00	1962-63	79.80	1989-90	93.80
<b>1982-83</b>	<b>279.00</b>	1964-65	70.60	1990-91	69.95
<b>1986-87</b>	<b>210.66</b>	1966-67	110.80	1992-93	118.21
1987-88	157.04	1967-68	70.00	1995-96	96.28
1991-92	94.60	1968-69	81.00	1996-97	92.70
1993-94	99.64	1970-71	63.00	1998-99	69.93
1994-95	129.72	1971-72	95.00	1999-00	66.61
1997-98	104.24	1973-74	128.00	2000-01	118.73
2002-03	129.24	1974-75	144.00	<b>2001-02</b>	<b>296.65</b>
2004-05	75.22	1975-76	101.80	2003-04	64.74
2006-07	145.04	1976-77	59.20	2005-06	153.90

El análisis de identificación de los dos procesos sugiere (Caviedes et al., 1998; Tapley y Waylen, 1990) dos regímenes de generación de caudales extremos que podrían ser modelados como mezcla de dos poblaciones diferentes como lo demuestran los valores medios y los desvíos de las muestras:

$$\begin{aligned}\bar{Q}_{Niño} &= 178 \text{ m}^3 / \text{s} & DE_{Niño} &= 94 \text{ m}^3 / \text{s} \\ \bar{Q}_{no-Niño} &= 107 \text{ m}^3 / \text{s} & DE_{no-Niño} &= 52 \text{ m}^3 / \text{s}\end{aligned}$$

La modelación como población mezcla se realizó utilizando el enfoque de Tapley y Waylen (1990) que expresa que cuando una variable aleatoria,  $x$ , resulta de una gran cantidad de posibles procesos generados, su distribución de probabilidad,  $F_x$ , puede asumirse como la suma de  $m$  distribuciones de cada uno de los procesos generados  $F_k$ , donde  $k = 1, \dots, m$ , ponderándolos de acuerdo a su frecuencia de ocurrencia,  $g_k$ , tal que:

$$F_x(x \geq X) = \sum_{k=1}^m g_k F_k(x \geq X) \quad (4.1.2.1.1)$$

donde:  $\sum_{k=1}^m g_k = 1$

Se ajustaron varias funciones de distribución a toda la serie de caudales máximos instantáneos de la estación Valle de Uco, siendo la distribución General de Valores Extremos (GVE) la que proporciona el mejor ajuste. Esta selección se realizó según los criterios de información Bayesian Information Criterion (BIC) y Akaike Information Criterion (AIC). En la Tabla 4.1.2.1.2 se puede apreciar que los menores valores de BIC y AIC corresponden a la distribución GVE y en consecuencia se emplea esta distribución para modelar los procesos considerados

**Tabla 4.1.2.1.2. Criterios de información BIC y AIC**

Distribución	BIC	AIC
GEV	625.856	619.727
Log-Pearson tipo III	626.160	620.031
Log-normal (3 parámetros)	626.386	620.257
Lognormal	627.714	623.628
Pearson tipo III	629.222	623.093
Gumbel	633.558	629.472

Si existen dos procesos que generan crecidas diferentes, procesos Niño y no-Niño, entonces  $m = 2$  y considerando que las distribuciones son GVE la ecuación (4.1.2.1.1) es:

$$F_x(x \geq X) = g_1 \exp\left[-\left[1 - \frac{k_1}{\alpha_1}(x - \xi_1)\right]^{\frac{1}{k_2}}\right] + g_2 \exp\left[-\left[1 - \frac{k_2}{\alpha_2}(x - \xi_2)\right]^{\frac{1}{k_2}}\right] \quad (4.1.2.1.2)$$

donde los subíndices 1 y 2 indican los procesos no-Niño y Niño.

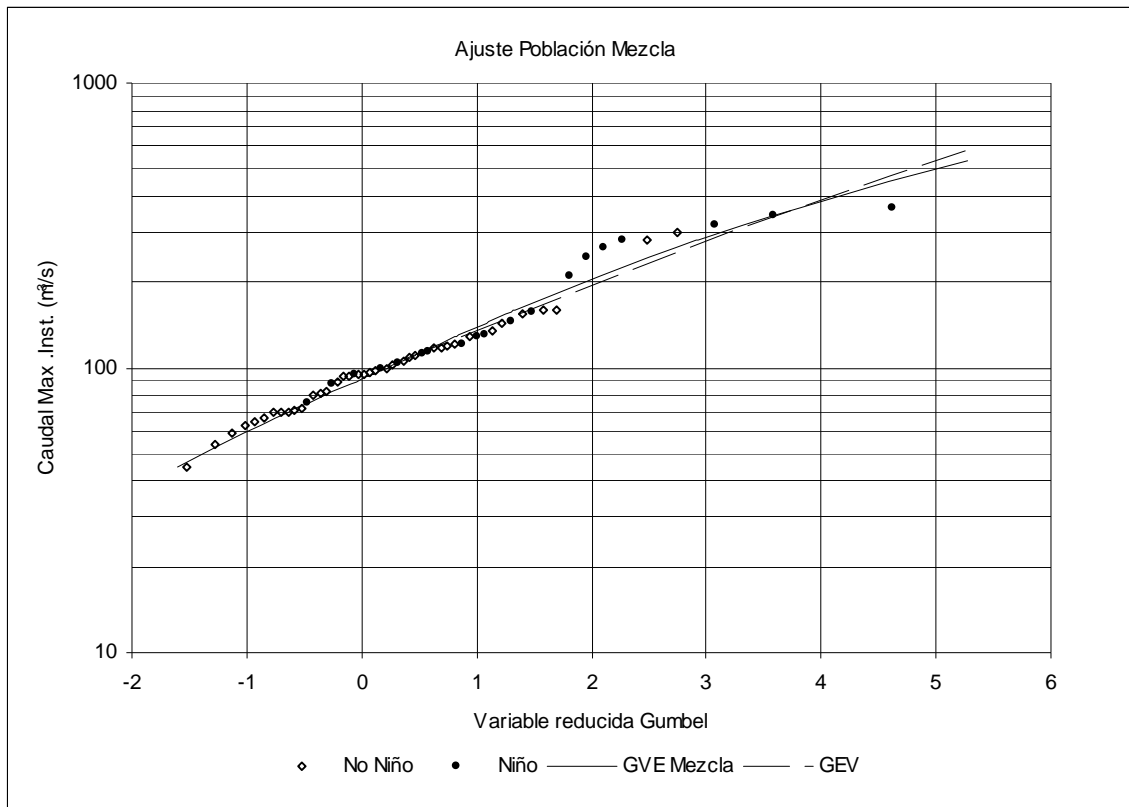
Los valores de los parámetros de las distribuciones GVE estimados por el método de los momentos ponderados según el software HYFRAN© (Bobée. et al., 1998) se presentan en la Tabla 4.1.2.1.3.

**Tabla 4.1.2.1.3. Parámetros de las distribuciones GVE**

Parámetros	Procesos		Serie Total
	no-Niño	Niño	
$g$	38/57	19/57	
$k$	-0.238854	-0.167833	-0.304695
$\xi$	82.5997	129.456	93.0376
$\alpha$	27.5935	62.9671	37.5464

En la Figura 4.1.2.1.2 se grafican los eventos no-Niño y Niño con sus probabilidades empíricas y los ajustes de las distribuciones GVE a las muestras total y mezcla, en función de la variable reducida Gumbel  $y$ , siendo  $y = -\ln(-\ln(F))$ . Si bien el ajuste a las observaciones es similar para las dos distribuciones consideradas, en la Figura 4.1.2.1.3 se observa que las estimaciones para períodos de retorno mayores a 100 años difieren considerablemente.

Se considera que el modelo de población mezcla es más adecuado que el ajuste de una distribución a todas las observaciones ya que considera la variación de las crecidas según la ocurrencia del fenómeno ENOS. La relación entre los caudales máximos instantáneos y sus períodos de retorno, estimada con este enfoque se presenta en la Tabla 4.1.2.1.4.



**Figura 4.1.2.1.2. Probabilidades de eventos no-Niño, Niño, muestra total y mezcla**

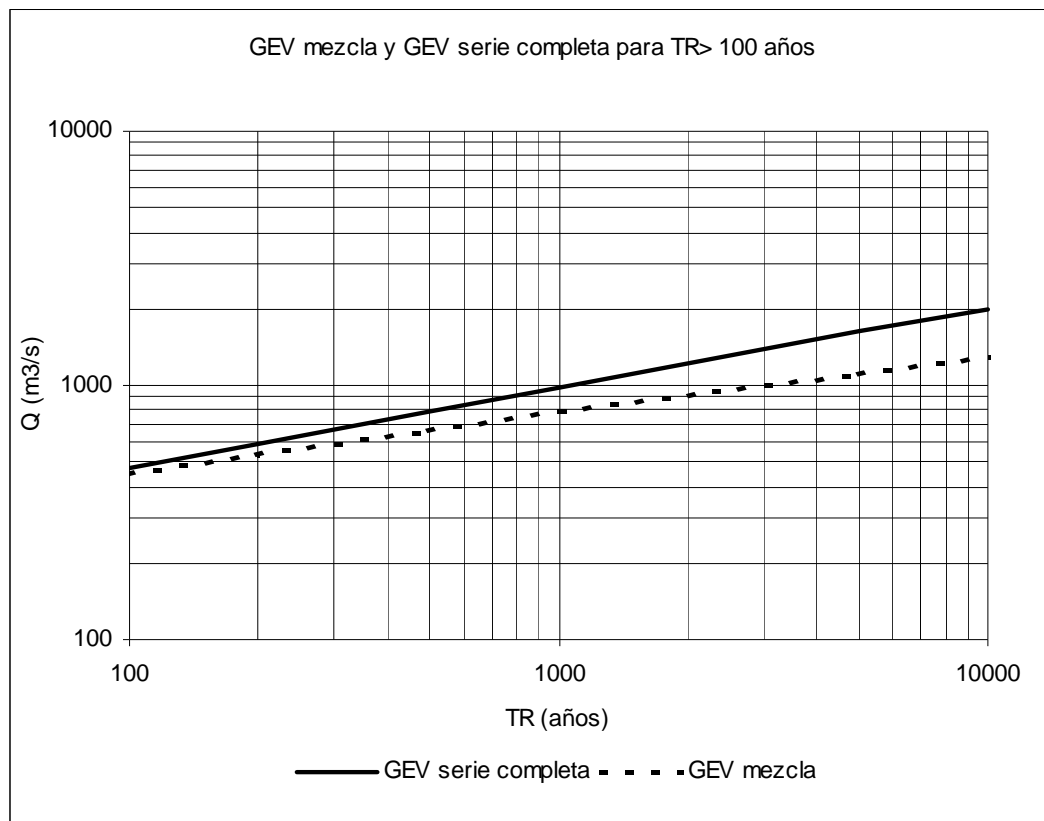


Figura 4.1.2.1.3. Estimaciones GEV muestra total y mezcla para  $T_R > 100$  años

Tabla 4.1.2.1.4. Resultados estimados con el modelo de población mezcla

Período de retorno (años)	Caudal máximo instantáneo ( $m^3/s$ )
100	450
200	536
500	668
1000	784
5000	1114
10000	1289

#### 4.1.2.2. Análisis regional de frecuencias

El análisis regional de frecuencias es una metodología que procura resolver el problema que presentan los registros de corta longitud en la extrapolación para períodos de retorno excepcionales, como los requeridos para la verificación de presas.



Esta metodología utiliza registros de un conjunto de estaciones cercanas o de una región homogénea, reemplazando de esta forma la falta de información temporal con aumento de información espacial.

El método denominado *Índice de Crecientes*, empleado inicialmente por Dalrymple (1960), es uno de los más utilizados en el análisis regional.

Numerosos estudios señalan que, para una región homogénea, la aplicación de este método con las distribuciones General de Valores Extremos (GVE) o Wakeby y estimación de parámetros mediante el método del promedio regional de momentos adimensionales L produce estimaciones más robustas y confiables que las que se obtendrían con el ajuste a las observaciones de una estación de interés (Hosking et al., 1985; WMO, 1989; Stedinger et al., 1992; Tallaksen y Van Lanen, 2004, Hosking y Wallis, 2005).

Con el propósito de obtener estimaciones para los caudales máximos medios diarios (MMD) en la estación Valle de Uco mediante la aplicación del método *Índice de Crecientes* se realizaron los siguientes estudios:

- (a) Selección de estaciones que conforman la región homogénea
- (b) Selección de la distribución que mejor ajusta a la región
- (c) Selección del método de estimación de los parámetros de la distribución.

La serie de caudales MMD la estación Valle de Uco utilizada en este estudio contiene los valores observados en el período 1954-2006 y los cuatro valores extrapolados mediante el procedimiento descrito en la sección 4.1.1, correspondientes a los años 1914, 1919, 1934 y 1941.

#### **4.1.2.2.1. Selección de estaciones que conforman la región homogénea**

En este estudio se utilizó el concepto de región homogénea que supone que las observaciones de estaciones ubicadas en la región tienen la misma función de distribución de probabilidades (Hosking y Wallis, 1991).

El análisis regional de frecuencias utilizado supone que las estaciones difieren solamente en un factor de escala, es decir el *índice de crecientes*, que generalmente, es la media de las observaciones en la estación considerada. De esta forma se combina la información regional con la propia de la estación de interés.

En base a la semejanza hidrológica y a su ubicación geográfica se seleccionaron diez estaciones para realizar el análisis regional de frecuencias. Estas estaciones se presentan en la Tabla 4.1.2.2.1.1.

La prueba estadística '*X-10*' fue utilizada para determinar la homogeneidad de las estaciones seleccionadas. Esta prueba, propuesta por Lu y Stedinger (1992), está basada en la varianza normalizada de los valores extremos estimados para un período de retorno de 10 años, asumiendo que éstos pueden ser modelados por una distribución GVE cuyos parámetros han sido estimados por el método de los momentos L.

**Tabla 4.1.2.2.1.1. Estaciones consideradas en el análisis regional**

Río	Estación	Rótulo	Longitud registro	Valor medio serie MMD (m <sup>3</sup> /s)
San Juan	Km 47.3	SJ	53	172.99
Cuevas	Punta de Vacas	C	47	20.36
Tupungato	Punta de Vacas	T	46	82.88
Vacas	Punta de Vacas	V	45	15.04
Mendoza	Guido	G	48	148.72
Tunuyán	Valle de Uco	VU	58	105.23
Diamante	La Jaula	D	32	106.93
Atuel	La Angostura	A	91	90.98
Salado	Cañada Ancha	S	55	34.78
Grande	La Gotera	LG	27	378.13

La función de distribución acumulada GVE es:

$$F_x(x) = \begin{cases} \exp\left[-\left(1 - \kappa \frac{x - \xi}{\alpha}\right)^{1/\kappa}\right] & \kappa \neq 0 \\ \exp\left\{-\left[\exp\left(-\frac{x - \xi}{\alpha}\right)\right]\right\} & \kappa = 0 \end{cases} \quad (4.1.2.2.1.1)$$

donde  $\xi$ ,  $\alpha$  y  $\kappa$  son los parámetros de posición, escala y forma. Un caso particular de la ecuación (3.2.1.1) es para  $\kappa=0$  y la expresión corresponde a la distribución de Valores Extremos Tipo I (EV1) o Gumbel.

El estadístico de la prueba 'X-10' es:

$$\chi_{L-M}^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(\hat{x}_{10}^i - \hat{x}_{10}^R)^2}{\text{var}(\hat{x}_{10}^i)} \quad (4.1.2.2.1.2)$$

donde:

$\chi_{L-M}^2$ : Variable con distribución Chi-cuadrado con  $m-1$  grados de libertad

$\hat{x}_{10}^i$ : Estimaciones normalizadas para un período de retorno de 10 años para la estación  $i$

$\hat{x}_{10}^R$ : Estimación regional normalizada para un período de retorno de 10 años

$m$ : Número de estaciones consideradas en la región.

La estimación normalizada para un período de retorno de 10 años, modelada con distribución GVE, para las observaciones de caudales MMD de la estación  $i$  se obtiene como:

$$\hat{x}_{10} = \begin{cases} 1 + \frac{\hat{\tau}_2}{1 - 2^{-\kappa}} \left[ 1 - \frac{0.10536^\kappa}{\Gamma(1 + \kappa)} \right] & \kappa \neq 0 \\ 1 + 2.4139 \hat{\tau}_2 & \kappa = 0 \end{cases} \quad (4.1.2.2.1.3)$$

donde  $\hat{\tau}_2$  es el momento adimensional L-coeficiente de variación (L- $C_V$ ).

La estimación regional normalizada para un período de retorno de 10 años se obtiene como promedio ponderado de los  $\hat{x}_{10}^i$  en función de la longitud de los registros  $n_i$  de la estación  $i$ , como:

$$\hat{x}_{10}^R = \frac{\sum_{i=1}^m n_i \hat{x}_{10}^i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (4.1.2.2.1.4)$$

La hipótesis de homogeneidad es aceptada, ya que de la ecuación (4.1.2.2.1.2)  $\chi^2 = 9.013$ , siendo 16.919 el valor crítico, para un nivel de significación del 5%.

#### **4.1.2.2.2. Selección de la distribución para la región homogénea**

Los diagramas de momentos adimensionales (convencionales o L) son útiles para identificar la función de distribución que mejor ajusta a la región, permitiendo comparar las estimaciones regionales con las relaciones teóricas para las distribuciones habitualmente usadas.

Los momentos L (WMO, 1989; Hosking, 1990; Stedinger et al., 1992; Tallaksen y Van Lanen, 2004; Hosking y Wallis, 2005) son combinaciones lineales de los momentos ponderados por probabilidad (Probability Weighted Moments, PWM) (Greenwood et al., 1979; Hosking, 1986).

Estos momentos presentan la particularidad de ser robustos en presencia de valores atípicos e insesgados para series de corta longitud, por lo que resultan convenientes en las etapas de identificación de la función de distribución y en la estimación de sus parámetros (Hosking, 1990). Por lo tanto, los diagramas de momentos adimensionales L-coeficiente de variación (L- $C_V$  o  $\tau_2$ ), L-asimetría ( $\tau_3$ ) y L-kurtosis ( $\tau_4$ ) son más confiables que los de momentos convencionales.

Para una región homogénea los momentos adimensionales L de cada estación perteneciente a la región son bien representados por los promedios regionales, debiéndose la dispersión solo a la variabilidad de las muestras (Hosking y Wallis, 2005).

En el análisis regional la bondad del ajuste a una función de distribución en particular se juzga evaluando la proximidad de los promedios regionales  $\hat{\tau}_3^R$  y  $\hat{\tau}_4^R$  a los valores teóricos de las distribuciones más utilizadas. Se emplea este diagrama en la etapa de identificación ya que, en

general, es más fácil ajustar distribuciones con parámetros de posición y escala que igualen a los promedios regionales.

Las relaciones teóricas entre los momentos adimensionales  $\tau_3$  y  $\tau_4$  para las distribuciones más utilizadas han sido derivadas por Hosking (1990) y la estimación de la distancia mínima de los promedios regionales  $\hat{\tau}_3^R$  y  $\hat{\tau}_4^R$  a los valores teóricos permite seleccionar la distribución que mejor describe las observaciones en la región.

Los valores  $\hat{\tau}_3^R$  y  $\hat{\tau}_4^R$  han sido calculados como promedios ponderados considerando la longitud de los registros de cada estación, con una expresión semejante a la ecuación (4.1.2.2.1.4), donde los valores de los momentos adimensionales  $\hat{\tau}_3^i$  y  $\hat{\tau}_4^i$ , para la estación  $i$ , se obtienen como:

$$\begin{aligned}\hat{\tau}_3 &= \frac{\hat{\lambda}_3}{\hat{\lambda}_2} \\ \hat{\tau}_4 &= \frac{\hat{\lambda}_4}{\hat{\lambda}_2}\end{aligned}\tag{4.1.2.2.2.1}$$

siendo  $\hat{\lambda}_2$ ,  $\hat{\lambda}_3$  y  $\hat{\lambda}_4$ , las estimaciones de los momentos L para la estación considerada.

En la Figura 4.1.2.2.2.1 se presenta el diagrama de momentos adimensionales  $\tau_3$  y  $\tau_4$  con los valores obtenidos para cada una de las estaciones consideradas, para el promedio ponderado regional (PPR) y para las relaciones teóricas de las distribuciones GVE, Log Normal 3 parámetros (LN·3), Pareto Generalizada (PAG), Pearson Tipo III (PE3) y Logística Generalizada (LOG).

Los valores  $\hat{\tau}_3^R$  y  $\hat{\tau}_4^R$  obtenidos en este estudio son 0.2627 y 0.1957, respectivamente. En la Figura 4.1.2.2.2.1 se puede observar que estos valores se encuentran muy próximos a la línea correspondiente a la distribución GVE, por lo tanto se adopta a esta distribución como representativa de las observaciones de caudales MMD de la región para el análisis de frecuencias.

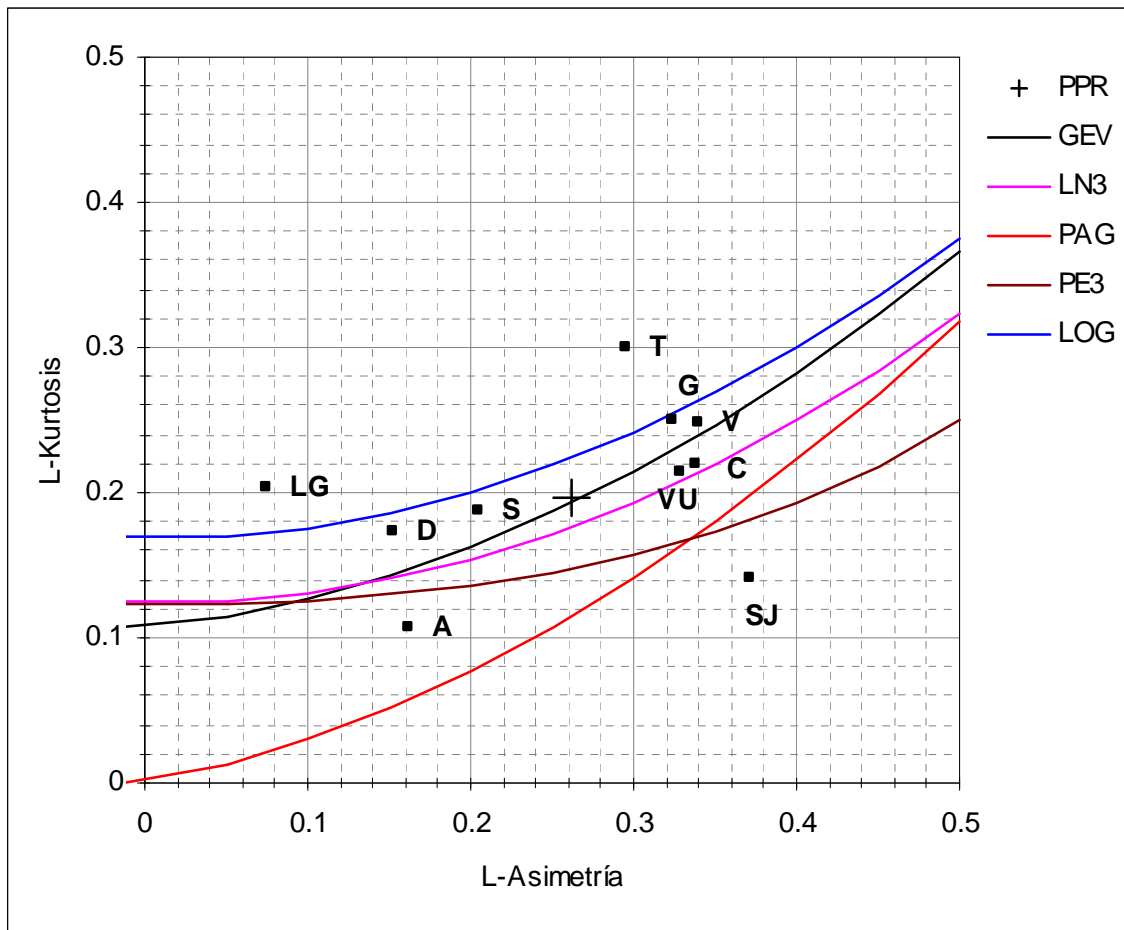


Figura 4.1.2.2.2.1. Diagrama de momentos adimensionales  $\tau_3$  y  $\tau_4$

#### 4.1.2.2.3. Estimación de caudales para la estación Valle de Uco

La curva regional adimensional con ajuste a una distribución GVE queda expresada como:

$$q(F) = \xi + \frac{\alpha}{\kappa} \left[ 1 - (-\ln F)^\kappa \right] \quad (4.1.2.2.3.1)$$

donde  $F = 1 - \frac{1}{T}$ .

En este estudio la estimación de parámetros se realizó mediante el método del promedio regional de momentos adimensionales L según el procedimiento descrito por Stedinger et al. (1992, Sección 18.5.1), utilizando las series de caudales MMD de las estaciones presentadas en la Tabla 4.1.2.2.3.1. Los valores obtenidos son:

$$\begin{aligned} \xi &= 0.7374, \\ \alpha &= 0.3412 \\ \kappa &= -0.1644 \end{aligned}$$

La curva regional adimensional (4.1.2.2.2.1) se utilizó en combinación con el valor medio de la serie de caudales MMD ( $\mu$ ) de la estación Valle de Uco con el propósito de lograr las estimaciones para distintos períodos de retorno  $T$  en esa estación según la siguiente ecuación:

$$Q(F) = \mu q(F) \quad (4.1.2.2.3.2)$$

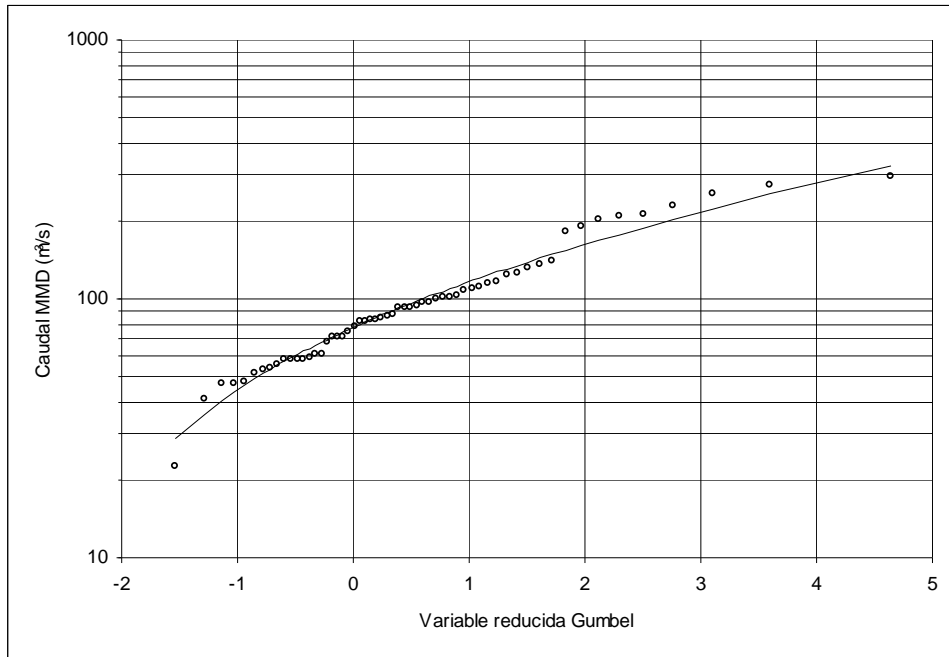
El valor medio de la serie, considerando las extrapolaciones mencionadas, es de 105.23 m<sup>3</sup>/s. La media de la serie de caudales MMD en el período de observación de la estación Valle de Uco es de 93.46 m<sup>3</sup>/s, por lo tanto la inclusión de los valores extrapolados solo produce un incremento del 13%.

Las estimaciones de caudales MMD obtenidas con la ecuación (4.1.2.2.3.2) permitieron determinar una relación entre los caudales máximos instantáneos (MI) y su período de retorno, utilizando el modelo de regresión lineal presentado en la Figura 4.1.1.3.

Las estimaciones obtenidas para la estación Valle de Uco se presentan en la Tabla 4.1.2.2.3.1 y en la Figura 4.1.2.2.3.1 se muestra el ajuste logrado con la ecuación (4.1.2.2.3.2) en función de la variable reducida Gumbel  $y$ , siendo  $y = -\ln(-\ln(F))$ .

**Tabla 4.1.2.2.3.1. Estimaciones de caudales en la estación Valle de Uco**

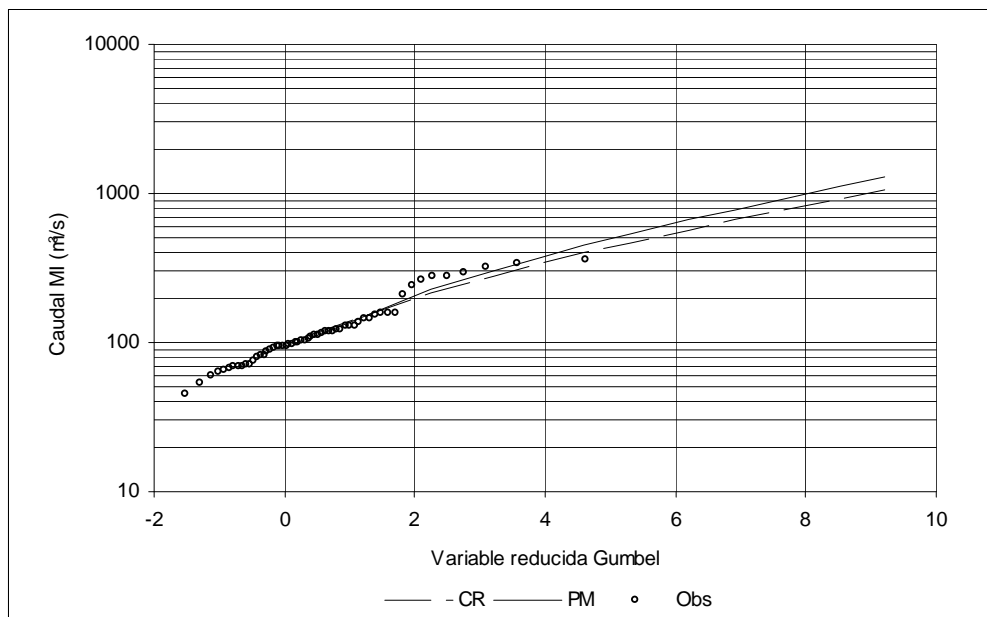
Período de retorno (años)	Caudales (m <sup>3</sup> /s)	
	MMD	MI
2	91.2	112.2
10	175.4	215.9
25	228.7	281.5
50	274.0	337.2
100	324.5	399.3
200	380.8	468.7
500	465.8	573.3
1000	539.1	663.5
5000	745.0	917.0
10000	852.0	1048.6



**Figura 4.1.2.2.3.1. Ajuste curva regional serie caudales MMD estación Valle de Uco**

### 4.1.3. Conclusiones del análisis de frecuencias

Se aplicó un análisis de frecuencias clásico, considerando a las observaciones de la estación Valle de Uco como provenientes de una población mezcla, y un análisis regional de frecuencias. Los dos métodos producen estimaciones semejantes (en el orden de  $1100 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $T_R = 10000$  años) de la relación caudal máximo instantáneo – período de retorno para la estación considerada y este resultado se puede observar en la Figura 4.1.3.1. Tal orden de magnitud es congruente con la crecida de diseño obtenida determinísticamente como se puede apreciar en la Tabla 4.1.3.1.



**Figura 4.1.3.1. Ajuste caudal MI método población mezcla y regional**

**Tabla 4.1.3.1. Comparaciones de caudales máximos entre los procedimientos utilizados**

PROCEDIMIENTO		Caudal máximo crecida de diseño en Los Blancos
Determinístico		1381.7 m <sup>3</sup> /s
ANÁLISIS DE FRECUENCIA TR= 10000 años	Modelo de población mezcla	1289 m <sup>3</sup> /s
	Modelo regional	1049 m <sup>3</sup> /s

## 4.2. COMPROBACIÓN CON CAUDAL MÁXIMO VS. ÁREA

Los estudios de crecidas extremas a nivel mundial desde 1984, cuando la International Association of Hydrological Science (IAHS) publicó “World Catalogue of Maximum Observed Floods”, demostraron que las máximas crecidas observadas están limitadas por una curva envolvente que se adapta muy bien a la ecuación propuesta por (Francou-Rodier, 1967):

$$\frac{Q}{Q_0} = \left( \frac{A}{A_0} \right)^{1 - \frac{K}{10}}$$

donde:

Q= caudal máximo de la crecida en m<sup>3</sup>/s

A= área de la cuenca en km<sup>2</sup>

Q<sub>0</sub>= 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s

A<sub>0</sub>= 10<sup>8</sup> km<sup>2</sup>

K= coeficiente de Francou-Rodier, siendo:

$$K = 10 \left( 1 - \frac{\log Q - 6}{\log A - 8} \right)$$

y aplicando a este estudio:

Q= 1381.7 m<sup>3</sup>/s (crecida de diseño Presa Los Blancos)

A= 2258.60 km<sup>2</sup> (área de la cuenca del Río Tunuyán hasta el Embalse Los Blancos)

es K= 3.85, valor comprendido en las determinaciones mundiales como se puede apreciar en la Figura 4.2.1



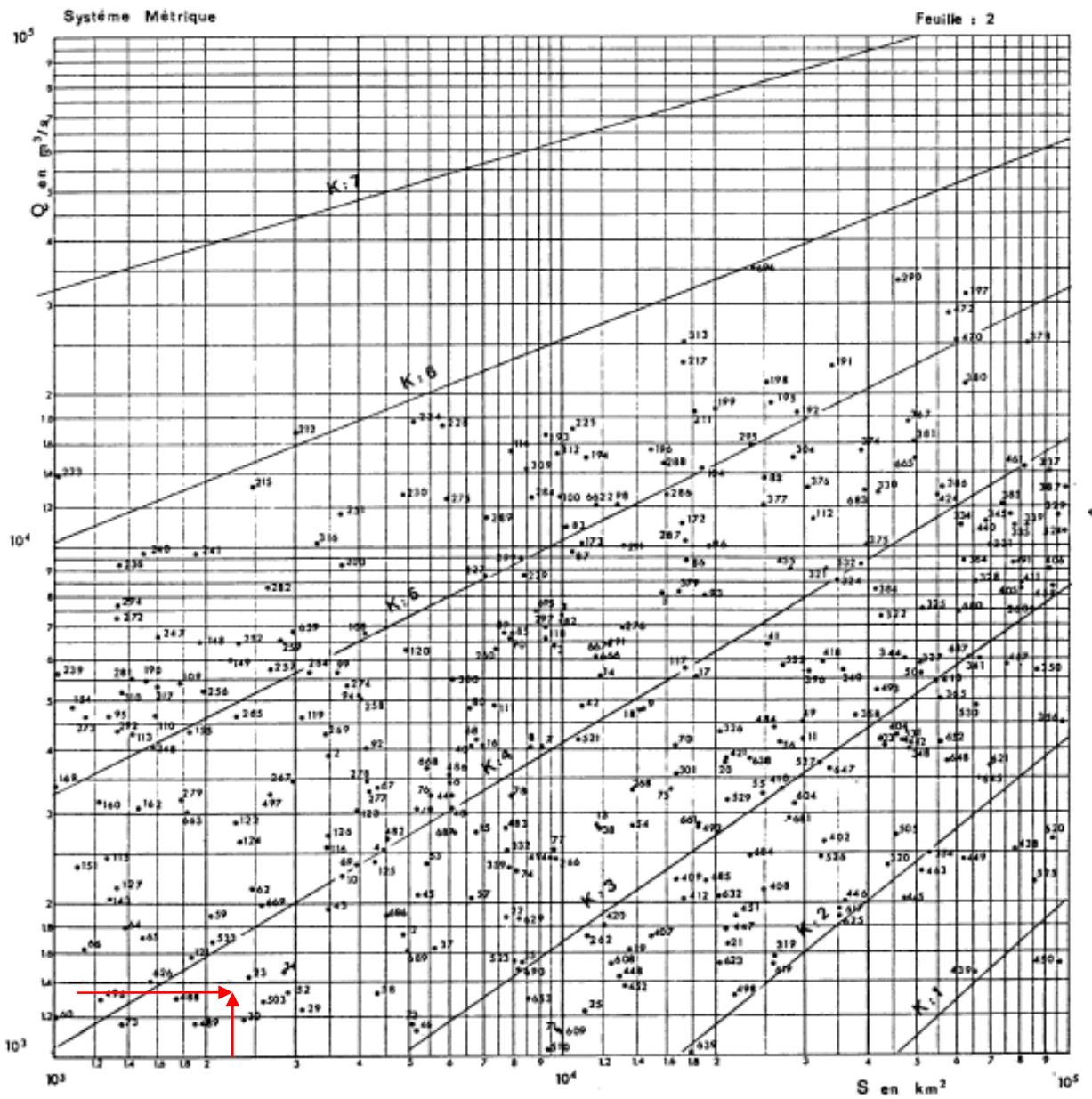


Figura 4.2.1. Coeficiente de Francou-Rodier

También se evidencia consistencia con la envolvente de Creager (Creager, W.P. et al., 1945) como se puede observar en la Figura 4.2.2 considerando que:

$$q(m^3/s/km^2) = \frac{Q}{A} = \frac{1381.7}{2258.6} = 0.61 m^3/s/km^2$$

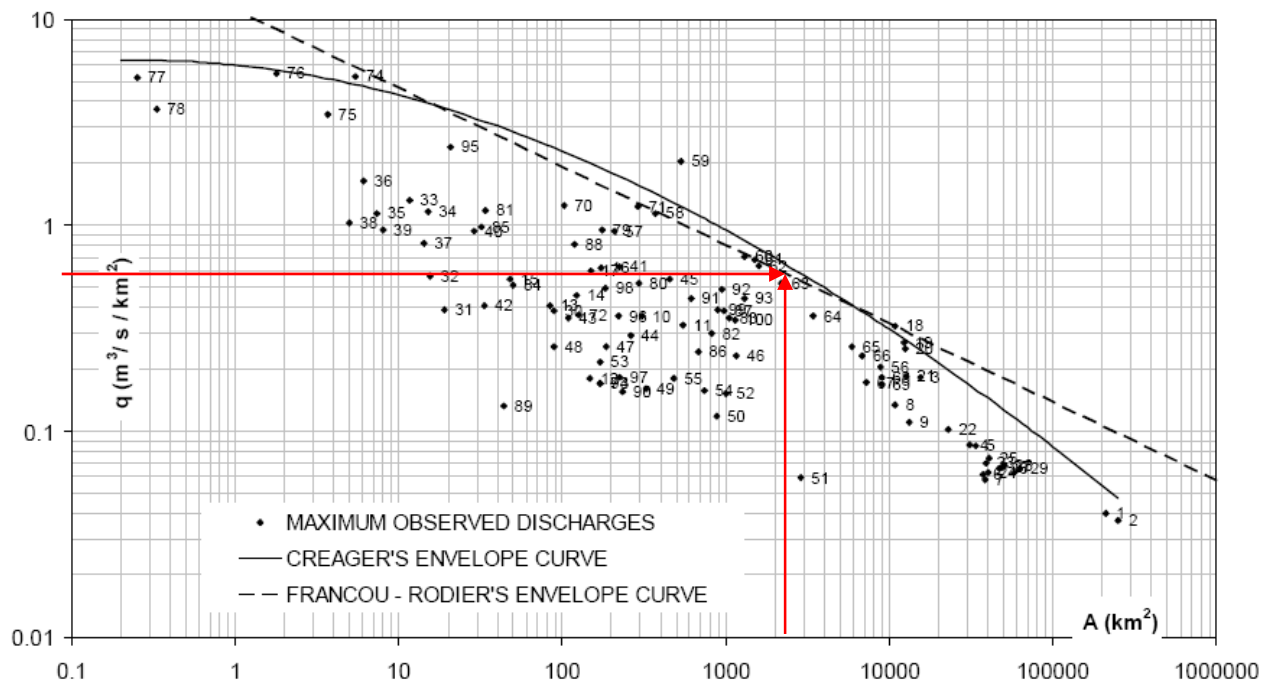


Figura 4.2.2. Envolturas de Creager y de Francou-Rodier de caudales máximos observados

Además se puede apreciar la similitud de valores, en términos de caudal específico máximo, entre la crecida de TR= 10000 años para la Presa Los Blancos (área de la cuenca hasta la estación Valle de Uco) y la determinada para la Presa Potrerillos para igual recurrencia (área de la cuenca hasta la Estación Guido):

$$\text{Potrerillos: } q(m^3/s/km^2) = \frac{Q_{10000}}{A} = \frac{4580}{8180} = 0.56m^3/s/km^2$$

$$\text{Los Blancos: } q(m^3/s/km^2) = \frac{Q_{10000}}{A} = \frac{1289}{2380} = 0.54m^3/s/km^2$$

### 5. CONCLUSIONES

Mediante una metodología determinística, físicamente robusta según las referencias bibliográficas internacionales, pero sin antecedentes en la región, se han conformado las crecidas de diseño para los aliviaderos de las presas Los Blancos y Los Tordillos, asumiendo que la fusión nival es factor dominante en el proceso. Bajo esta consideración se obtuvieron valores de caudales máximos que son congruentes con los determinados por dos procedimientos de análisis de frecuencias y consistentes con los estudios de crecidas extremas a nivel mundial y regional.

En la Tabla 5.1 se resumen los caudales máximos de las diferentes crecidas consideradas.

**Tabla 5.1. Resumen de los caudales máximos de las diferentes crecidas consideradas**

Sitio	Tipo de Crecida	Qmax crecida (m <sup>3</sup> /s)
Embalse Los Blancos	Nival	1007.0
	Pluvial	374.7
	<b>Diseño en Los Blancos</b>	<b>1381.7</b>
Embalse Los Tordillos	Los Blancos (nival+pluvial)	1261.3
	Pluvial	212.4
	<b>Diseño en Los Tordillos</b>	<b>1429.7</b>

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Alberta Transportation, Transportation and Civil Engineering Division, Civil Projects Branch (2004). Guidelines on Extreme Flood Analysis. Canada.

Bell, F. C. (1969). Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. Journal of the Hydraulics Division, ASCE. Vol. 95 N° 1, enero, pp.311-327.

Bobée, Bernard et al. *HYFRAN© Versión 1.1*. Chair in Statistical Hydrology, Institut National de la Recherche Scientifique - Eau Terre et Environnement (INRS-ETE), Université du Québec - Hydro-Québec - Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG). 1998.

Committee on Safety Criteria for Dams, Water Science and Technology Board, National Research Council (1985). Safety of Dams: Flood and Earthquake Criteria

Caviedes, C. N. y P. R. Waylen, 1998. Respuestas del clima de América del Sur a las fases de ENSO. Bull. Inst. Fr. études andines, 27(3), 613-626.

Cervený, R., B. Skeeter y K. Dewey, 1987. A preliminary investigation of a relationship between South American snow cover and Southern Oscillation. *American Meteorological Society Monthly Weather Review*, 115.

Creager, W.P., Justin, J.D. & Hinds, J., 1945. Engineering for Dams. Vol. 1, John Wiley, New York, USA.

Dalrymple, T., 1960. Flood-frequency analyses. Water Supply Paper 1543-A, US Geol. Survey. Washington, USA.

EVARSA (2004). Estadística Hidrológica de la República Argentina CD

Felicísimo, Á. M. (1994) "Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales". 220 p. Pentalfa Ediciones, Oviedo

Fernández, P. C., L. A. Fornero y S. Rodríguez (1999). "Sistemas meteorológicos en tiempo real: Lluvias, tormentas y alerta hidrológica de Mendoza". Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Serie N° 27.

Fornero L.A., A. Pavese, J. Maza, D. Vega. (2002) "Actualización del Modelo Hidrológico ArHymo" Libro de Resúmenes del XIX Congreso Nacional del Agua (ISBN 987-20378-0-9), págs. 49-50 y en CD (ISBN 987-20378-1-7) Trabajo N° 14 de la Comisión 2. Carlos Paz, Córdoba.

Francou-Rodier, 1967. *Essai de classification des crues maximales observées dans le monde*.

Greenwood, J. A., J. M. Landwehr, N.C. Matalas y J. R. Wallis, 1979. Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Water Resour. Res.*, 15(5), 1049-1054.

Hosking, J. R. M., 1986: The theory of probability weighted moments. IBM Math. Res. Rep., RC 12210, Yorktown Heights.

Hosking, J. R. M., 1990. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *J. R. Stat. Soc., Ser. B.*, 52(2), 105-124.

Hosking, J. R. M. y J. R. Wallis, 1991. Some statistics useful in regional frequency analysis. IBM Research Report RC 17096, Yorktown Heights, New York, USA.

Hosking, J. R. M. y J. R. Wallis, 2005. *Regional Frequency Analysis. An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press. New York.

Hosking, J. R. M., J. R. Wallis y E. F. Wood, 1985. An appraisal of regional flood frequency procedure in the U. K. flood studies report. *Hydrol. Sci. J.*, 30(1), 85–109.

ICOLD (International Commission of Large Dams) (1992). *Selection of Design Flood*. Bulletin 82.

INA-CRA (2008) "Tormenta de Proyecto para el Pedemonte del Gran Mendoza"

Lu, L. H y J. R. Stedinger, 1992. Sampling variance of normalized GEV/PWM quantile estimators and a regional homogeneity test. *Journal of Hydrology* 138, 223–245.

Linsley, R.; M. Kohler; J. Paulus (1977). *Hidrología para Ingenieros*.

Martinec, J.; A. Rango; R. Roberts. (2005). *SNOWMELT RUNOFF MODEL*. User's Manual. WinSRM Version 1.10. Edited by Enrique Gómez-Landesa

Maza J., F. Cazorzi, P. Lopez, L. Fornero, A.Vargas, J. Zuluaga. (2001). "Snowmelt mathematical simulation with different climatic scenarios in the Tupungato River basin, Mendoza, Argentina" *Remote Sensing and Hydrology 2000* (Proceedings of a symposium held at Santa Fe, New Mexico, USA, April 2000). IAHS Publ. no. 267, x pp. 126–128.

Monsalve Saénz, G. (1999). "Hidrología en la Ingeniería". Ed. AlfaOmega, 2ª Edición.

OMM (Organización Meteorológica Mundial) (1994) Guía de Prácticas Hidrológicas. Adquisición y Proceso de Datos, Análisis, Predicción y otras Aplicaciones. OMM-Nº 168

Pellicciotti, F., P. Burlando y K. Van Vliet, 2007. Recent trends in precipitation and streamflow in the Aconcagua River Basin, central Chile. IAHS Publ. 318.

Prieto, M. R.; R. Herrera y P. Dussel, 1999. Historical evidences of streamflow fluctuations in the Mendoza River, Argentina, and their relationship with ENSO. *The Holocene*, 9, 4, 473-481.

Roig, Fidel et al (1996) “Mapa de Vegetación de la Pcia. de Mendoza” Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas (IADIZA) Cricyt – Mendoza.

Severov D. N.; E. Mordecki y V. A. Pshennikov, 2004. SST anomaly variability in Southwestern Atlantic and El Niño/Southern oscillation. *Advances in Space Research*, 33, 343–347.

Stedinger, J. R., R. M. Vogel y E. Foufoula-Georgiou, 1992. Frequency analysis of extreme events. En *Handbook of Hydrology*, editado por D. R. Maidment, Capítulo 18. McGraw-Hill. New York

Tallaksen, L. M. y H. A. J. Van Lanen, 2004. Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Elsevier B.V. The Netherlands.

Tapley T. D. y P. R. Waylen, 1990. Spatial variability of annual precipitation and ENSO events in Western Peru. *Hydrol. Sci. J.*35(4), 429-446.

World Meteorological Organization (WMO) (1986). Manual for the Estimation of Probable Maximum Precipitation. WMO-Nº 332. Operational Hydrology Report 1.

World Meteorological Organization, 1989. Statistical distributions for flood frequency analysis. World Meteorol. Organization, WMO-Nº 718, Operational Hydrology Report Nº 33.

## 7. REFERENCIAS EN INTERNET

[www.wrcc.dri.edu/enso/ensodef.html](http://www.wrcc.dri.edu/enso/ensodef.html)

<http://ggweather.com/enso/calenso.htm>

<http://ggweather.com/enso/oni.htm>

<http://ggweather.com/enso/years.htm>

[www.bom.gov.au/climate/enso/australia\\_detail.shtml](http://www.bom.gov.au/climate/enso/australia_detail.shtml)

[www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml](http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtml.shtml)

[www.agric.wa.gov.au/content/lwe/cli/ENSO\\_200301.pdf](http://www.agric.wa.gov.au/content/lwe/cli/ENSO_200301.pdf)